



TITLE:

輸送システム整備計画の情報処理  
システムに関する研究(  
Dissertation\_全文)

AUTHOR(S):

木俣, 昇

---

CITATION:

木俣, 昇. 輸送システム整備計画の情報処理システムに関する研究. 京都大学, 1975, 工学博士

ISSUE DATE:

1975-07-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r2836>

RIGHT:

輸送システム整備計画の情報処理  
システムに関する研究

昭和50年2月

木俣 昇

# 輸送システム整備計画の情報処理 システムに関する研究

昭和 50 年 2 月

木 俣 昇

# 目 次

第1章 序 論 .....	1
第1節 現代社会と輸送システム整備計画 .....	1
第2節 社会的計画システムの計画情報処理構造 .....	4
第3節 輸送システム整備計画の構造化と機能分析 .....	10
第4節 本論文の目的と構成 .....	14
第1章 参考文献 .....	18
第2章 認知情報システムとしての待ち情報システムの諸特性に関する研究 .....	19
第1節 緒 言 .....	19
第2節 輸送システムの基本的待ち構造 .....	21
第3節 待ち情報システムの構造と諸特性 .....	24
第4節 待ち情報システムの特性に関する数値的検討 .....	30
第5節 輸送システム整備計画における基本的課題の検討 .....	36
第6節 結 言 .....	46
第2章 参考文献 .....	47
第3章 輸送システム整備計画における要件充足性最大化システムに関する研究 .....	50
第1節 緒 言 .....	50
第2節 閘門設置計画の概要 .....	51
第3節 適正閘門規模の評価関数 .....	53
第4節 閘門における船舶の平均待ち時間に関する情報システム .....	56
第5節 最大適合理化計画案の選定とその処理過程の分析 .....	63
第6節 結 言 .....	69
第3章 参考文献 .....	70
第4章 実施計画レベルにおけるシステム論的情報処理に関する研究 .....	71
第1節 緒 言 .....	71
第2節 航路における船舶通航行動のモデル化 .....	72
第3節 航路通航船舶のシミュレーションモデル .....	78

第4節 実験計画法による情報処理 .....	81
第5節 実施計画よりのフィードバック情報 .....	87
第6節 結 言 .....	94
第4章 参考文献 .....	95
第5章 輸送システム整備計画における許容化原理に関する研究 .....	97
第1節 緒 言 .....	97
第2節 複数航路型航空交通管制方式による広域管制システムの構造 .....	98
第3節 航空輸送システムのシミュレーションモデル .....	103
第4節 航空機騒音被害の予測情報システム .....	108
第5節 航空輸送システム整備計画の許容適合性に関する検討 .....	114
第6節 結 言 .....	121
第5章 参考文献 .....	123
第6章 結 論 .....	125
謝 辞 .....	133

# 第 1 章 序 論

## 第 1 節 現代社会と輸送システム整備計画

われわれの社会、いわゆる宇宙船「地球」号がおかれている状況は、次の R. バックミンスター・フラーの言葉に要約されるであろう。すなわち、「……人類の生存と成長に対して、今日までは、いわば事故防止のクッションが用意されていたのは明らかである。」しかし、「われわれの無知を養い、試行錯誤を守ってきた滋養分は尽きてしまった。」そして今や「われわれは知性という両翼をひろげ、<sup>1)</sup>飛び立たなければならない時期にさしかかっている。さもなければ破滅するしかない。」この意味で現代は、「計画か非計画かが問題となる時代ではないのである。いかなる方向の、いかなる計画を選択し、<sup>2)</sup>いかにそれを実践していく」かに、社会の自己保存系としての存続がかけられている時代なのである。

現に、計画化は社会主義体制下のみならず、体制のいかにかわらず広く現代社会に浸透してきている。現代社会の計画化へのこの傾斜は、1 つには現代社会のもつ効率性の原理に、1 つには現代社会が受けている種々の文明への挑戦に、1 つには現代社会がもつ高い技術的自由度にその理由が求められるであろう。すなわち、現代社会における計画化への傾斜は、種々の挑戦に応じ、かつ、望ましい未来を、高度な技術によって、効率的に実現するための知的・合理的行動体系の追求の表われとみることができる。

さて、現代社会を特徴づけるものとして、社会のシステム化の進展があげられるであろう。これは、近代合理主義精神の 1 つの帰結であると考えられる。それは、新全国総合開発計画にみられるように、各サブ社会をその特性に応じて、ある特定の機能部分として特化させることによって、全体社会としての高効率を追求しようとするものであるといえよう。社会が高度にシステム化されてくると、各サブ社会はその自律性を著しく減じてくる。従って、このような社会では高効率と引き換えに、各サブ社会は、他のサブ社会との密接な結合関係に存在そのものを大きく依存してくる。そしてその関係が少しでも損なわれると機能が著しく低下し、存続自体さえも困難となるのである。ここにシステム化された社会において、サブ社会間の結合システムの維持、強化、拡大に関する、継続的かつ強力な要請がでてくるという構造的要因が存在する。

輸送システム整備計画は、この要請を背景に、サブ社会間の結合システムの物理的側面の維持、強化、拡大の手段として目的論的に位置付けられ、制度化されてきたものと考えられる。ところが社会のシステム化のレベルと輸送システム整備計画との間には、上述の構造的な要請と整備計画の機能よりみて、社会のシステム化のレベルが上がれば上がるほど、輸送システム整備計画への強い要請が起き、逆に輸送システムが整備されると社会のシステム化が更に進むという正のフィードバックの関係が想



定される。ここに、現代社会における輸送システム整備計画の拡大化の構造を見出すことができる。ちなみに、わが国における交通施設整備に関する単年度平均公共投資額は、昭和39～44年度1兆8千億（実績）、昭和42～46年2兆6千億（経済社会発展計画）、昭和45～50年3兆9千億（新経済社会発展計画）と増大を続け、昭和48～52年のそれは、経済社会基本計画によれば、7兆7千億とされているのである。<sup>3)</sup>

前述したように、輸送システム整備計画はシステム化された社会の構造的要請にもとづいて、輸送という物流的結合機能を維持、強化、拡大するものとして拡大の一途をたどっている。ところが、導入しようとする輸送システム自体、現代の巨大技術を背景とし巨大化してきているし、それを受け入れようとする現代社会もまた大規模、複雑なシステムとなっている。従って、輸送システム整備にともなうシステムの両立性（*Compatibility*）が、自己保存系としての社会にとって非常に重要な問題となってくる。

この問題の解明には、輸送システム整備計画と社会との機能的関係の分析が必要となる。ところで機能は、次の4種類の分析概念に類別される。<sup>4)</sup>

- (1) 顕在的機能＝機能の客体にとって寄与的な諸結果をもたらすもののうち、機能主体の意図、動機、期待された目的に対応させられるもの。
- (2) 潜在的機能＝機能客体にとっての寄与の結果をもたらすもののうち、機能主体の意図、動機、期待された目的に対応させることのできないもの。
- (3) 潜在的逆機能＝機能主体の意図、動機、期待された目的に対応させることのできない機能客体にとっての非寄与的結果をもたらすもの。
- (4) 潜在的没機能＝實際上機能の客体にとって重要性をもたない結果をもたらすもの。

輸送システム整備計画においても、これらの諸機能が発生するものと考えるべきである。またこれら諸機能、特に逆機能は、整備計画の規模と社会のシステム化のレベルとに相乗的に関連すると考えられる。

さて、前述したように社会のシステム化のレベルと整備計画の規模との間には、正のフィードバック構造が存在する。また技術はそれ自身自己拡大運動を行なうとされている。これらのことより現代社会における輸送システム整備計画がたどるであろう軌跡を描くとすれば、輸送システム整備計画は、ある時点まではわれわれが意図する目的に寄与する価値機能を創出するが、徐々に騒音、汚染、環境破壊という逆機能の顕在化に伴なって変質し、遂には有用性を失うとすることができるであろう。明らかに、この過程は計画が目的論的偏向に陥り、逆機能的側面に関する有効な制御手段を行使しなければ加速度的に進行するものである。種々の状況を観察すれば、現在この危険な過程がすでにかなり進んでいると思われるいくつかの事実を発見することができる。従って、われわれは早急に自己保存系としての適合

性をそなえた合理的,科学的な社会的計画の論理と実行システムとを探索する必要がある。著者は,本論文において,輸送システムの整備計画という現代社会の基幹的計画を対象とし,その合理的,科学的論理と実行システムの探索という極めて緊急な課題に対する1つの接近を試みることにする。

輸送システム整備計画のような社会的計画は,すぐれて全体的なものであって,いろいろな問題が複雑に関連しあっている。そこで著者はこのような全体性を特徴とする課題に有効に接近する方法論として,次のような3つの視点を採用する。

(1) 社会的計画システムの基本的構造を本質的に把握するためには,社会的計画システムを自己保存系ととらえる必要がある。そうすることによって,まず図1-1に示すような情報処理がエネルギー処理を制御するという階層的構造を想定する

ことができる。さらに,情報処理基体は人間であるということより,その情報処理システムが本質的には後述するC E D変換構造をもつと把握することができる。

(2) 社会的計画は,すぐれて全体的なものであるため,問題の所在,側面を明確にする必要がある。その手段として,(i)記述レベルの階層 (Strata), (ii)意思決定レベルの階層 (Layer), および (iii)組織的階層 (Echelon) という階層性の区別,干渉 (Intervention), フィードバック (Feedback) 等の多階層システム論的概念を用いることが有効となる。

(3) 自己保存系として計画を合理的,科学的に評価するためには,計画の諸作用を全体的に把握する必要がある。この把握が目的論的偏向に陥らないために,機能主体,機能客体の単位を明確にし,前述した顕在的機能,潜在的機能,および潜在的逆機能という機能分析概念を導入した分析,把握が必要である。

次節以後において,これらの視点よりさらに社会的計画システムについて詳論することにする。

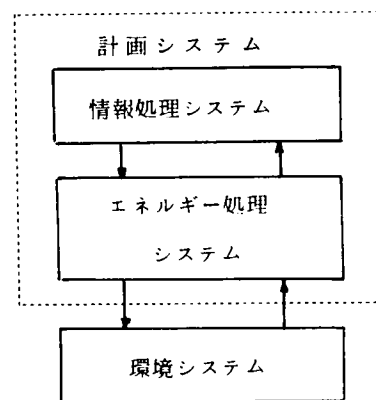


図1-1 計画システムの基本的構造



## 第2節 社会的計画システムの計画情報処理構造

第1節において、著者は輸送システム整備計画の現代性とそれがおかれている状況について述べ、本計画が新しい論理と実行システムとを必要としていることを指摘した。そして、この課題に有効に接近するための3つの視点を提示した。本節では、まず社会的計画システムの基本的構造に関する把握という問題について考察する。

現代社会における計画は、大規模、複雑性を特徴とする。そのために、われわれは問題を認知し、計画案を評価し、行動を指令するための社会的システムを必要とするに至っている。それゆえ、多数の研究<sup>5)</sup>者によるこのシステム＝「社会的計画システム」に関する研究が、種々の側面よりなされてきている。それらは概念的には、次のように要約される。すなわち、計画システムとは、「主体」、「目的」、「手段」、および「環境」を基本概念として構成されるシステムで、主体が、目的と手段との関係をはたらかの形で認知し、その結果を評価することによって適切な手段を選択し、環境に作用する目的合理的行動体系であると考えられている。この計画概念システムを構成する4つの基本要素、「主体」、「目的」、「手段」および「環境」は、図1-2のような関係として整理できる。明らかに、これは著者が

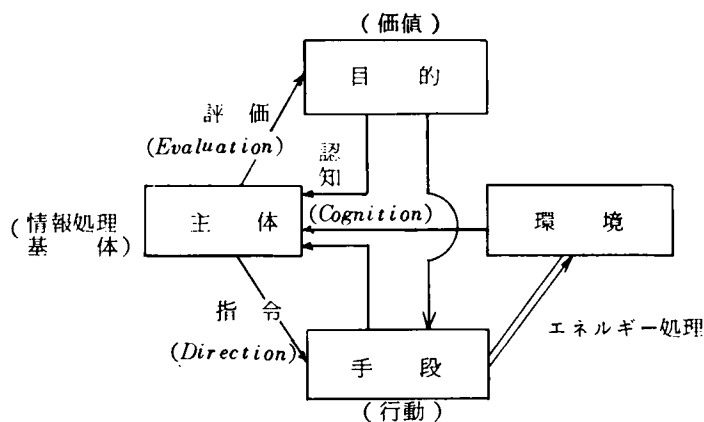


図1-2 計画の4要素と情報の3つの基本的カテゴリー

第1の視点より計画システムの中枢部に位置するものとして指摘した情報処理を中心とする1つのモデル化である。著者は社会的計画システムの中枢部に位置するこの計画情報処理システムの構造について、第1の視点にもとづいて考察を進めていくことにする。

情報処理は、人間に固有なものではない。<sup>6)</sup>ミツバチの8の字ダンスに見られるように、広く一般に自己保存系と呼ばれるものに共通するものである。ところが人間の場合には、「シンボル性記号」の使用にその特色があるといわれている。そしてシンボル性記号は、対象遊離性という特徴をもち、人間における意味作用に、動物レベ<sup>7)</sup>ルでは未分化な認知-指令作用の分化と新たな評価作用の発生をもたらしたとされている。その結果、人間は刺激拘束性という動物レベルを脱し、一次環境に緊縛されていた生活空間を、過去、未来、架空という世界を加えた二次環境にまで拡大させた。このように考えてくると、未来を構想するという計画

概念を、シンボル性記号情報の対象遊離性に関連して発生した、人間における意味作用の進化の1側面としてとらえるという視点がえられる。

計画概念のこのような把握によって、おおくの新しい視点と、研究すべきいろいろな問題、およびその解決のきっかけを得ることができる。まず第1に、シンボル性記号の対象遊離性は、計画行為に創造性をもたらすと同時に、不確実性の原因ともなるという視点が得られる。この視点よりただちに計画情報処理における評価の問題の重要性が指摘できる。この問題については、すでに多くの研究があるが、<sup>8)</sup> 本論文では、図1-3に示すような「許容化」と「最大化」よりなる階層的システムによる構造化の方法の導入を提案する。

また、社会的計画に関する評価側面として、

- (1) 社会的計画のもつ規範性、目的論性との関係より、計画案の自己保存系としての要件充足性に関する側面、
- (2) 社会的計画のもつ複合主体性、あるいは客観性との関係より、計画案の事実対応性に関する側面、
- (3) 社会的計画のもつ実現性、あるいはエネルギー処理との関係より、計画案の実行可能性に関する側面、

という3つがあることを指摘したい。

図1-3の評価モデルは、まず許容化の過程で、これら3つの側面に関する

「基準情報」より設定される「許容水準」に対して、計画案がそれらを満足しうかどうかの判定を行ない、そして、最大化の過程で、3つの側面の1つを選択し、その側面に関して最大適合性をもつ計画案の選定を行なうというレイヤーをもつ階層的システムである。次に、このモデルの導入により明らかにされる2、3の新しい視点、問題について述べておく。

まず、「基準情報」には、(i)個人的-社会的、(ii)経験的-理論的という軸による4つのカテゴリーが考えられる。このことより、社会的計画には、例えば、社会的-理論的基準については許容されても、個人的-経験的基準については許容されない場合や逆の場合が存在しうることが示唆される。もしその計画の実施が緊急を要する場合には、これら部分的適合性をもつ計画案間の選択が必要となる。この種の問題は、非常に多く、計画情報処理システムにとって重要なものであるが、別の接近法が考えられる。こ

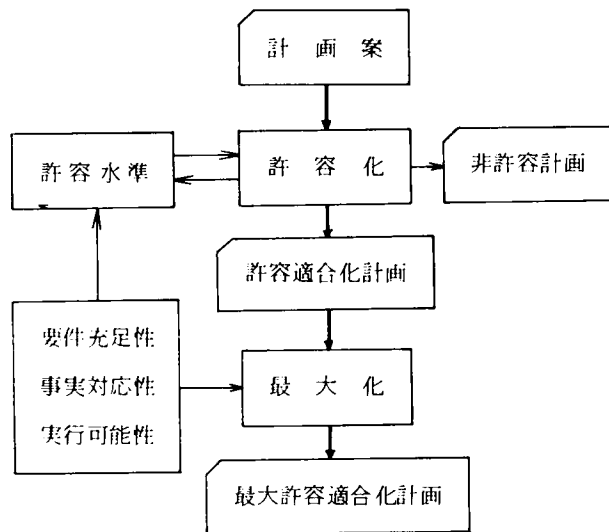


図1-3 計画評価モデルにおける許容化と最大化との階層性

ここでは、計画情報処理には、許容水準の設定、最大化すべき側面の選択という計画主体の自由度の介在する部分があるため、計画情報処理をシステム化し対象化すること、また、許容された基準情報のカテゴリーを明確にすることを合理的、科学的情報処理としての必要条件として示しておくにとどめる。

次に、本モデルは、許容化と最大化との間に意思決定レベルの階層性（レイヤー）が存在するという構造をその本質とする。このことはもしこの階層性が破壊されたとすれば、最大適合性をもつが、許容適合性をもたない計画案が選択される危険性があるということをも示唆する。例えば経済性を最優先とする諸計画は、社会的一理論的カテゴリーに属する系の1つの要件である経済性という側面に関する最大化をめざすものと考えられる。これらにあつては、最大適合性をもつが許容適合性をもたない計画案が選択される危険性が高いといえる。今日までの計画情報処理システムには、この許容化と最大化との間に存在する階層性（レイヤー）に関する認識が欠落していたのではないだろうか。

以上では、著者は、計画を人間における意味作用の進化の1側面ととらえる新しい視点より、評価システムの1つのモデル化を提案するとともに、このモデルによって得られる2、3の問題について論じた。

さて、計画概念のこのような把握は、さらに社会的計画システムにおける知識の蓄積、学習の効果という過程論的接近が重要となることを示唆する。

社会的計画は、複雑で、非常に全体的あつて、種々の側面が複雑に関連しあっている。もちろん、1分野、1時代の研究者のよくするところではなく、種々の相における研究成果が統合されねばならない対象である。社会的計画システムは、これら諸研究成果を吸収し、新たな問題に立ち向かわねばならない。ところが、前述したように、計画の問題は、種々の側面をもち、かつそれらが複雑に関連しあっているため、学習を可能とするためには、これらを全体との関連性を保持しつつ、類別化するという作業が必要となる。著者は、このような類別化の1つの方法として、多階層的システム論の諸概念を導入するのが有用であると考え、以下においてこの第2の視点よりの類別化と、いくつかの問題に関する考察を試みる。

まず、社会的計画システムの構造の表現には、いくつかの方法がある。著者は、図1-4に示したような多階層的システム構造による表現を採用する。そして、前述したようにその各レベルの各サブシステムが、図1-5に示すような、認知（*Cognition*）、評価（*Evaluation*）、指令（*Direction*）よりなるCED変換をその本質とする情報処理を行なっていると考え。このような、図1-4、図1-5という階層論的表現にもとづいて、著者は、社会的計画に関連する諸課題を類別化してみる。ただし、その有効性は、これによって提示しうる類別化の本質性、全体との関連性、および問題の豊富さによって判定すべきであろう。

さて、階層論的表現による類別化は、計画に関する諸問題を図1-4、図1-5に表われる部分自体

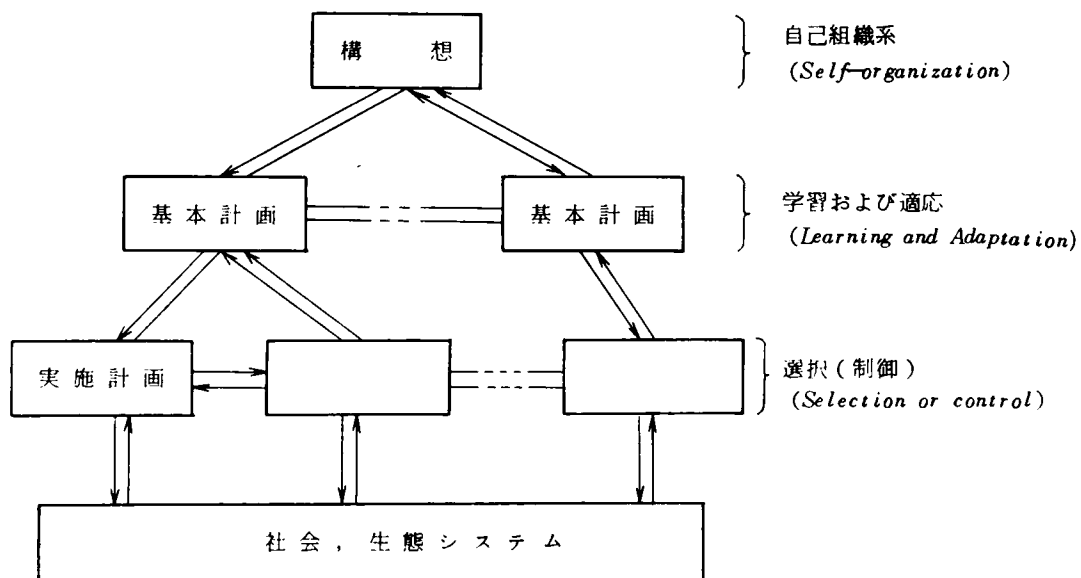


図 1-4 社会的計画の階層構造

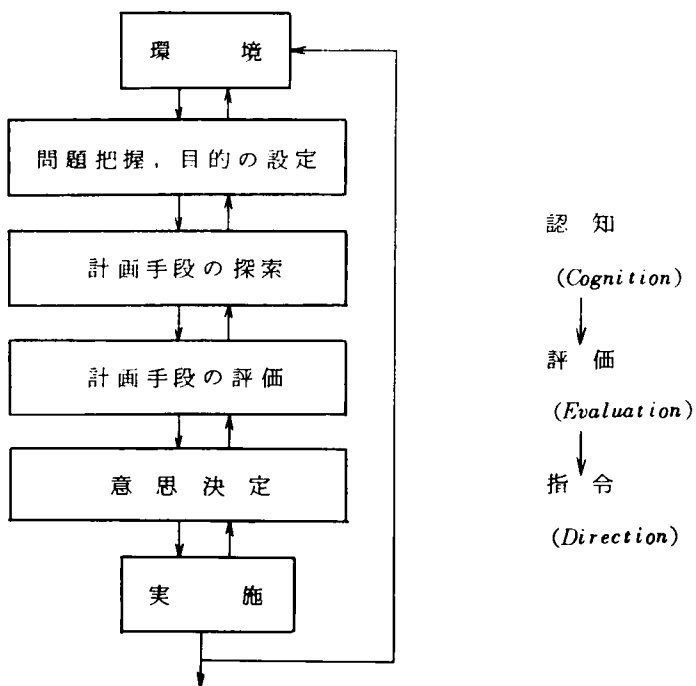


図 1-5 計画における情報処理プロセス〔CED変換モデル〕

に関する課題と、これら部分間の関係に関する課題とに大別する。部分自体に関する課題に類別されるものには、前述した情報処理の評価構造の問題がまずあげられる。前述したところは、図1-4の各レベルの各サブシステムに共通する図1-5の部分としての一般論である。多階層的類別化は、情報処理の評価構造という問題が、図1-4の各レベルの各サブシステムにおける問題とし、さらに追求されなければならないことを示している。また、“計画の科学化”と呼ばれている諸課題は、一般には図1-4の社会・生態システムに関するシステムモデルの開発を意味するが、これは、図1-5の認知部分に関する課題の1つに類別されるものである。前述の課題と同様に、この課題についても図1-4の各レベルの各サブシステムにおける認知部分としての研究が必要となる。これらの諸研究は、計画階層レベルと認知情報システムとの適合性というより本質的な研究課題を提供する。この研究には、比較機能論的視点が必要となるが、多階層的システム論はその手掛として、認知情報システムのストラータの比較という視点を提供してくれる。

また多階層的システム論は、図1-4に示したように、意思決定レベルの階層（レイヤー）よりみた機能システム論的な接近が、構想計画、基本計画、および実施計画という各部分に関する研究にとって、本質にかかわる有用な方法となることを示唆するのである。

上述以外の部分として、指令の部分に関する諸課題が存在するが、これは次に述べる部分間の関係に関する課題と密接な関係にある。

さて、部分間の関係に関する階層論的概念には、部分の分割に関する垂直的分割（*Vertical decomposition*）と水平的分割（*Horizontical decomposition*）、および部分の結合に関する干涉（*Intervention*）とフィードバック（*Feedback*）とがある。従って、大別としてはこの2つの軸による4つの類別化が考えられる。前述した個人的・社会的、経験的・理論的という軸による基準情報のカテゴリー化は、認知、評価という図1-5に示される垂直的分割部分間の干涉の種類に関する研究課題として類別されるものである。また、最大化の過程における1側面の選択という前出の課題も、干涉に関する課題の1つとして類別されるものである。一方、フィードバックについては、仮想的フィードバックと現実的フィードバックの区別がなされている。一般論的には、図1-4の計画階層レベルが上ると仮想的に、下ると現実的になる。本論文が扱う問題は、すべて仮想的情報処理に類別されるものである。一方、計画の実施、結果の観測、それによる制御に関する研究は、現実的情報処理として類別される。

さて前に提出した認知情報システムのストラータの適合性という課題には、干涉という側面と、フィードバックという側面とが関連してくる。一般論的には、認知情報システムのストラータが上がると“より本質的な理解”（*better understanding*）が、逆にストラータが下がると“より詳細な説明”（*more detailed explanation*）が得られるとされている。<sup>11)</sup> 一方上位の計画階層レベルではより詳細な説明より、より本質的な理解が、逆に下位レベルではより詳細な説明が重要になる。このことより、こ

の課題は計画階層レベルからくる機能的要請と認知情報システムのもつ機能との適合性という問題になることが判る。水平的分割部分間の干渉、フィードバックに関する研究課題に類別化されるものとして<sup>12)</sup>は、航空輸送と鉄道輸送との競合という分担率問題を始めとする同一レベルにある個別計画間の諸問題、同一レベルにある個別情報システム間の諸問題がこれに属する。

最後に、計画主体という図1-4の各レベルの各サブシステムに含まれる要素の問題にふれておく。図1-4の各レベルの各サブシステムにおける意思決定、それにもとづく干渉、フィードバックは、この計画主体によってなされる。従って、計画主体の構成は、社会的計画システムの基本的構造を決定づけるものとして、その機能を始めとする諸特性の把握が重要となる。

前述したように、機能論的にいえば、計画階層レベルが上位になればなるほど、計画案の自己保存系としての要件充足性に関する評価が重要となり、下位になればなるほど、実行可能性に関する評価が重要となる。このことより、上位レベルにおいては、自己保存系としての社会の真の主体とよぶべきものが、下位レベルにおいては、機能的主体とよぶべき情報処理の専門家が、それぞれ主体構成の主要な部分を占めるとすることができるだろう。

他にも計画主体の合理的、科学的な構成に反映させねばならない事項が多数ある。例えば、前述した許容化、最大化の過程における主体の自由度もその1つであるし、次節において述べる計画にともなう機能を受けるものと逆機能を受けるものとの対立もその1つである。

以上論じたように、第1、第2の視点による比較的単純な社会的計画システムに関する多階層的表現に基礎をおくこの類別化は、豊富で、しかもより本質的な研究課題を提供するものであることを知った。特にここで得られた比較情報機能的視点は、今後の計画情報処理の研究に大いに寄与するものとなろう。

### 第3節 輸送システム整備計画の構造化と機能分析

輸送システム整備計画は、第 1 節で論じたように社会的計画の 1 階層に属する実効的計画の 1 つである。そしてそれは、現在ビックプロジェクトというにふさわしく、社会、生態システムの広範な部分に、重層的、非可逆的作用を及ぼすものである。しかも現代社会の構造上それは自己目的々となりやすい。それゆえ、輸送システム整備計画には、自己保存系としての接近法が必要なのである。

輸送システム整備計画を中心とする社会的計画の階層構造は、図 1-6 のようになっている。本論文

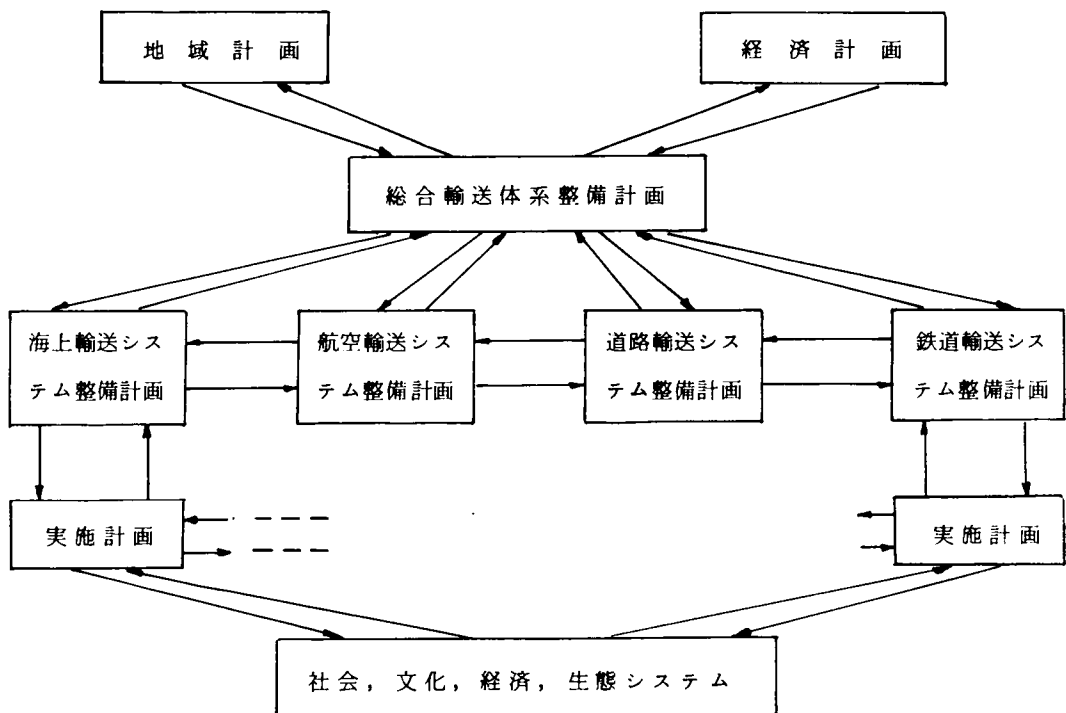


図 1-6 輸送システム整備計画の階層構造

は、このような階層構造にある個別輸送システム整備計画における情報処理について研究することによって、計画情報処理における合理性、科学性について考察することを目的とする。

さて、第1節でも述べたように、巨大化した輸送システムの整備は、種々の機能、逆機能を社会、生態システムにもたらし、その影響は、自己保存系としての社会の存続性にもかかわる。従って、この把握が、目的論的偏向に陥入り、逆機能の派生に対して有効手段が行使されなかったとすれば、たちま



ち巨大な逆機能が顕在化し、社会は自己保存系として存続しえないという非常に危険性に直面することになる。著者は、これを避けるための方法論として、第1節において第3の視点として機能分析の概念の導入について述べた。本節では、この第3の視点による考察を行なう。

機能分析の概念を有効に適用するためには、(1) 機能主体の明確化、(2) 機能客体の単位の明確化、および (3) その作用局面の明確化が必要となる。

まず、輸送システム整備計画には、図1-7に示すように、建設、投資、および供用という3つの異なる

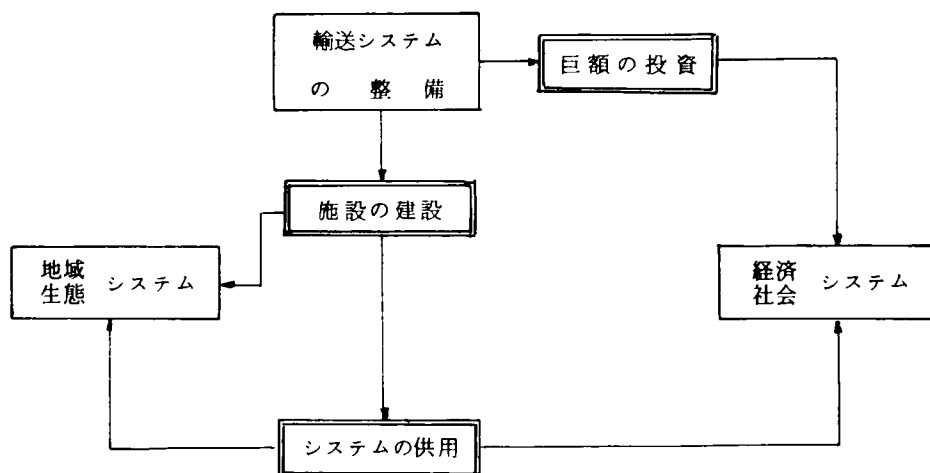


図1-7 輸送システム整備計画の3つの作用局面

る作用局面が考えられる。一方、輸送システムは、図1-8に示すような特性、作用局面の異なる、ハードな輸送手段、ハードな輸送施設、およびソフトな運用システムという3つの要素群をもち、かつ図1-9に示すような空間的、機能的構造をもつものとして把握できる。著者は、まずこの3つの特性、作用局面の異なる要素群をもって機能主体のカテゴリーとする。

機能、逆機能の判定は、「機能客体の単位」によって異なる。例えば、輸送手段としての大型ジェットは、需要者という機能客体の単位にとっては機能をもたらすものであっても、空港周辺住民という機能客体の単位にとっては、騒音と大気汚染という逆機能をもたらすものでしかない。そこで前述の機能主体に対して作用局面と作用空間構造とを図1-7、図1-9によって与え、その影響を受ける機能客体の単位を選定し、その機能関係別カテゴリー化を行なう。そして、その結果を機能分析表として、表1-1のような行列形式に整理することを提案する。

ここで、一般的には上述の機能客体のカテゴリーに属する単位間には、集合要素としてオーバーラッ

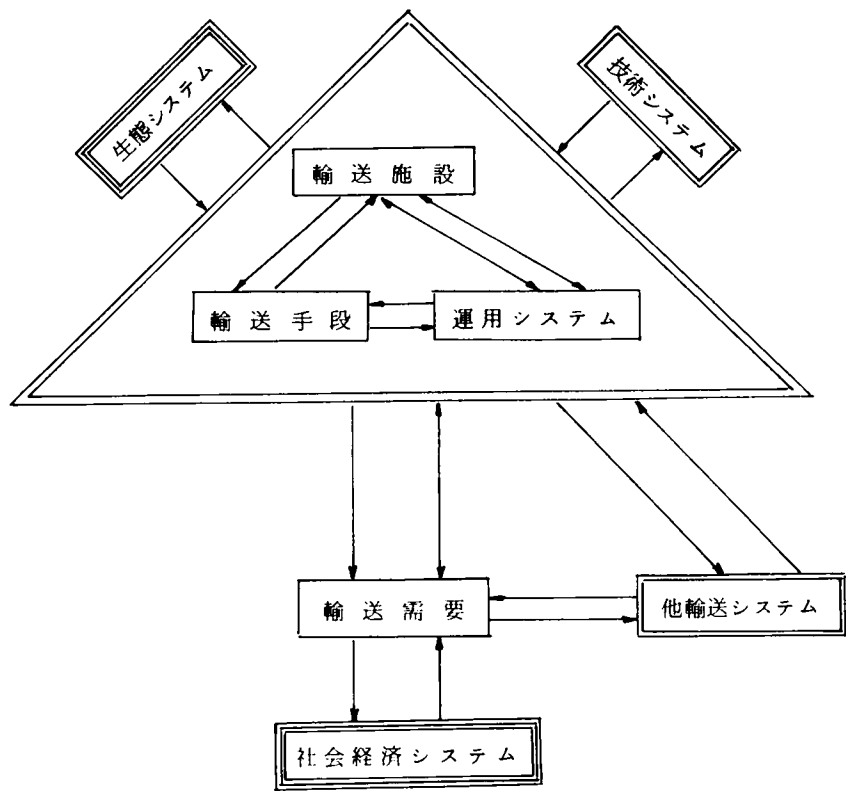


図 1-8 個別輸送システムを中心とする記述レベル

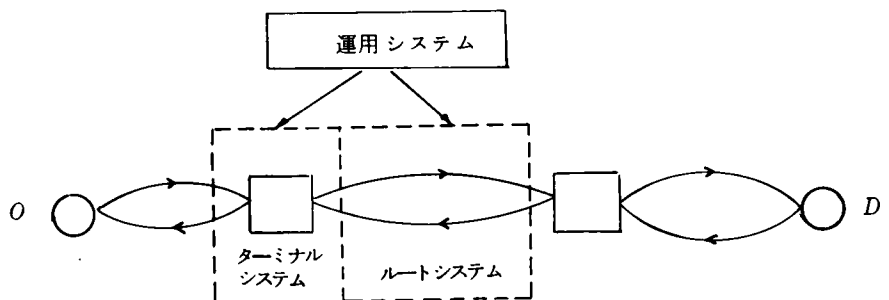


図 1-9 輸送システムの基本的構成

表1-1 計画情報の構造行列  $F(I, J, K)$

局面 $J$ 機能 $K$ 要素 $I$		建 設	投 資	供 用
輸 送 手 段	1	$F(1, 1, 1)$	$F(1, 2, 1)$	$F(1, 3, 1)$
	2	$F(1, 1, 2)$	$F(1, 2, 2)$	$F(1, 3, 2)$
輸 送 施 設	1	$F(2, 1, 1)$	$F(2, 2, 1)$	$F(2, 3, 1)$
	2	$F(2, 1, 2)$	$F(2, 2, 2)$	$F(2, 3, 2)$
運 用 シ ス テ ム	1	$F(3, 1, 1)$	$F(3, 2, 1)$	$F(3, 3, 1)$
	2	$F(3, 1, 2)$	$F(3, 2, 2)$	$F(3, 3, 2)$

プする部分は少ないことを指摘しておきたい。

さて、社会的計画の眞の主体と呼ぶべきものは、これら機能客体の単位の一部（自然、動物も単位の1つである。）を形成する人間（需要者、住民）である。そうすれば、上述の指摘は社会的計画には一般的に主体間の対立があるということを意味する。そして、その対立も、機能を受ける側と逆機能を受ける側という鋭い対立であって、正、負として単純に和のとれる種類のものではないと考えなければならないものである。このことは、前述した上位レベルにおける計画主体の構成に、機能を受ける側と逆機能を受ける側の主体の参加を、その機能、逆機能のレベルに応じて反映させる必要があること、計画の機能的側面に関する情報システムだけでなく、逆機能的側面に関する情報システムも必要となることを示している。

図1-7、図1-8、図1-9による輸送システム整備計画の構造化は、計画主体の合理的、科学的構成に有効だけでなく、顕在的機能、潜在的機能、および潜在的逆機能の情報化にとっても有効なものである。表1-1は、この意味で社会的計画システムの合理的、科学的構成にとって基本的な情報を与えるものとして非常に重要である。

さて、顕在的機能の把握については、第2章で詳しく述べることにし、ここでは、輸送システム整備計画に伴う潜在的機能、逆機能を概観しておこう。

“生産的港湾”，“ターミナル周辺商業地域”は、ターミナルシステムの潜在的機能に着目した発想であり，“空飛ぶホテル，会議室”，“動く精油所＝タンカー”は、輸送手段の潜在的機能に着目したものである。また、投資による有効需要、失業対策等も輸送システム整備計画の潜在的機能側面である。一方、逆機能としては、輸送手段の活動に伴う騒音、大気、海水汚染、異常気象、皮膚ガン、輸送施設建設にともなう生態系の切断、破壊、地価騰貴、コミュニティの変質、破壊等が挙げられるのである。<sup>13)</sup>

輸送手段に関連する逆機能は、テクノロジー・アセスメントとして、近年検討される気運になってきて<sup>14)</sup>

いる。現代の巨大化、高感度化された社会的計画にあっては、機能の創出と同時に、逆機能の制御が、大きな課題となっている。本来的には、逆機能の問題は上位の計画の論理において検討されるべき問題であり、下位計画でのその分析は、上位計画へのフィードバック情報としてなされるものでしかない。本論文では、第5章において、航空輸送システムの機能の創出と航空機騒音という逆機能の派生との関係について研究することになっている。

#### 第4節 本論文の目的と構成

著者は、本章第1節において現代社会における計画化への一般的傾斜とその主要因について述べるとともに、現代社会における基幹の計画の1つである輸送システム整備計画を取りあげ、その構造的考察を試みた。そして、この計画が、逆機能の顕在化、巨大化にともなって、自己保存系としての社会の存続に影響を及ぼすに至る過程を明らかにし、自己保存系としての適合性をもった計画システムの探索が極めて緊急な課題であることを指摘した。

著者は、この課題に接近する方法論として3つの視点を提示し、その視点にもとづく考察を第2節、第3節において展開した。

第2節においては、まず、自己保存系の基本構造と人間における情報処理の特徴という第1の視点から、社会的計画システムの基本構造の把握を試みた。そして、計画概念を *CED* 変換という人間における意味作用の進化の1側面として把握するという新しい視点を示すとともに、このような把握によって、おおくの新しい視点と研究すべきいろいろな問題、およびその解決のきっかけが得られることを述べた。それらは、次の2つに大別される。その第1は、計画情報処理における評価システムの重要性の指摘である。著者は、この問題に対して、許容化と最大化よりなる階層的システムの導入を提案した。そして、このモデルの導入によって、計画情報処理には、情報処理基体（主体）の自由度の介在する余地があること、最大適合性をもつが、許容適合性をもたない計画案が選択される危険性があること等を示し、合理的、科学的情報処理の必要条件として、情報処理をシステム化し、計画主体の自由度の介在を対象化していること、許容基準情報のカテゴリーを明示していることをあげた。

その第2は、社会的計画システムに関する学習過程論的接近の必要性の指摘である。社会的計画は、複雑で、全体的な現象であるため、その学習を可能とするためには、まず研究課題を、全体との関連性を保持しつつ、類別化するという作業が必要となる。著者は、このような類別化の1つの方法として、多階層的システムという第2の視点が有効であるとして、その導入を試みた。まず、*CED* 変換という基本構造を含む比較的単純な社会的計画システムに関する多階層的システム表現を採用し、この表現に

もとづく類別化について述べた。そして、この方法が、豊富で、かつより本質的な課題を提出するものであることを示した。第2の視点による類別化の最大の成果として、著者は計画階層レベルと情報処理システムとの適合性という計画情報処理の研究にとって非常に有用な、比較機能論的視点の獲得をあげておきたい。

第3節においては、自己保存系としての輸送システム整備計画の適合性を合理的、科学的に評価する方法論として、機能分析概念を導入するという第3の視点による計画の構造化と、それにもとづく若干の考察を行なった。まず、輸送システムの構成要素、機能的、空間的構造、および整備計画にともなう作用局面を明らかにすることによって、ハードな輸送手段、ハードな輸送施設、およびソフトな運用システムという特性、作用局面の異なる3つのカテゴリーが、機能主体に考えられることを述べた。そして、このカテゴリーに従って、機能主体、作用局面別に、機能客体の単位を輸送システムの空間的構造にそって選定し、その受ける機能によって、カテゴリー化することにより、機能分析マトリックスを作成するという方法を提案した。

また、上述の機能客体のカテゴリーは、一般的にその要素に重複した部分を多くはもたないこと、社会的計画の真の主体と呼ばれるものはこの要素の1つであることとによって、社会的計画には、単純に処理しえない主体間の対立が存在することを示した。これらのことより、著者は、合理的、科学的情報処理の必要条件として、計画の機能的側面に関する情報システムだけでなく、逆機能的側面に関する情報システムを備えるべきことをあげた。

以上において、著者は、3つの視点による社会的計画システムについての考察を行なうとともに、合理的、科学的な計画システムの確立にとって必要ないくつかの課題、新しい視点を提出した。第2章以後においては、この合理的、科学的情報処理という問題に焦点を絞って、本章において提出したいくつかの課題をさらに具体的に展開していくことにする。

まず、第2章においては、図1-5に示したように合理的、科学的情報処理の前提条件となる認知情報システムに関する研究を行なう。

輸送システム整備計画の基本的情報の1つに、顕在的機能に関する認知情報としての待ち情報がある。この視点よりの研究は、すでに数多くなされているが、待ち行列理論モデルによるものかシミュレーションモデルによるものかという視点がみられるだけで、認知情報システムとしての待ち情報システムの特性を全体的に論じたものは皆無とおもわれる。

著者は、本章第2節において、比較機能論的視点より、計画階層レベルよりの要請と、認知情報システムのもつ機能との適合性が、合理的、科学的情報処理にとって必要であることを指摘するとともに、認知情報システムの機能の考察の手掛として、その記述レベル(ストラータ)の解明が有用であることを述べた。第2章では、この方針にもとづいて、待ち情報システムのもつ諸特性について研究すること

にする。

まず、著者は、待ち情報システムを、(i) 確率事象の記述方式と、(ii) 時間の進行方式という基本的記述構造によって、4つのカテゴリーに統一的に分類することを提案する。そして、この分類に従って、ストラータを解明するとともに、記述可能領域、操作性、創造性等認知情報システムとしての諸特性について研究を行なうことにする。さらに、2、3の待ち情報システムの特性について、数値的な検討を行なうとともに、輸送システム整備計画に共通する3つの基本的な問題についても考察することとする。

第3章、第4章、および第5章においては、海上輸送システム、航空輸送システムという大量、あるいは高速長距離輸送システムとしてわが国における地域開発計画の重要な戦略とされているシステムの整備計画を具体的対象とし、本章第2節、第3節で提出した計画階層システムの各レベル、各部分における情報処理の問題について研究する。

まず、第3章においては、海上輸送システム整備計画を対象とし、基本計画レベルにおける評価のシステム化について研究する。

海上輸送システム整備計画のシステム化の研究は、長尾、吉川を中心に進められているが、特にターミナルシステムの計画については、待ち行列系のシステムモデルを導入した方法が、パラダイムとなりつつある。著者は、これらの方法に従って、潮位差の大きな地域の港湾に閘門を建設するというターミナルシステムの整備計画に類別化される課題のシステムモデルをまず研究する。この計画案は、土木技術的には実行可能なものであるが、船舶交通上の安全性、海上輸送システムとしての経済性、さらに港内の汚染ともなう損失等、要件充足性、事実対応性、実行可能性に関する評価が必要である。特に、基本計画レベルにおいては、要件充足性に関する評価は、計画案を提出する動機を構成するものとして必須の項目である。著者は、そこで最大化すべき側面として、海上輸送システムとしての経済性という社会的・理論的カテゴリーに属する要件を採用し、上述のシステムモデルを情報システムとすることによって、本章第2節で提案した許容化と最大化とよりなる評価モデルのシステム化を行ない、基本計画レベルにおける評価システムの問題をより具体的に研究することとする。

次に、第4章においては、航路整備計画という海上輸送システムのルートシステムに関する整備計画を対象とし、実施計画レベルにおける情報処理システムについて研究する。

わが国では、瀬戸内海を始めとし、主要港湾は、港口に狭水路を持つものが非常に多い。海上交通の量的増大、大型化、高速化に伴って、このサブシステムが海上輸送システムの能力を大きく規定し始めてきた。特に近年船舶の衝突という事態が多数発生し、現実的にも実行可能な解決策の策定が緊急課題となっている。しかし、従来の研究では、船舶の航行の動態調査のレベルにとどまっており、航路システム整備計画との関連でシステム化しているものは、皆無である。そこで、著者は、その実施計画レベルにおける認知情報システムの研究をまず行なうことにする。

本章第2節で指摘したように、認知情報システムは、計画階層レベルに適合するものでなければならぬ。前述したように、実施計画レベルでは、実行可能性が重要であって、より詳細な説明力をもったものが必要とされる。著者は、第2章の結果を踏えて、複雑な航路システムの認知情報システムとしては、まずシミュレーションモデルが妥当であるとし、これによるモデル化を試みることにする。しかしシミュレーションモデルは、一般論的に操作性に難点をもつとされ、情報処理の効率化のための補助システムが必要とされる。そこで、著者は、実験計画法の導入を提案し、実施計画レベルにおける情報処理システムとして、シミュレーションと実験計画法よりなるシステム論的方法の研究を行なうこととする。

最後に、第5章においては、航空輸送システム整備計画を対象とし、本章第3節で指摘した計画の機能的側面に関する情報システムと逆機能的側面に関する情報システムの問題について研究する。

航空輸送システムは、わが国の輸送体系の重要な部門となっているが、周知のように、現在、航空旅客数、貨物需要量の爆発的増大と航空機騒音等の逆機能による空港周辺地域の環境破壊という困難な問題に直面している。需要に対処するための航空交通の増大、大型化、高速化という手段は、騒音という逆機能を派生させるだけでなく、ターミナル周辺での航空機の衝突、すなわち安全性という輸送システムの要件充足性の問題とも関連してくる。このように、この計画には、本章第3節で指摘した主体間の鋭い対立がみられる。そこで、著者は、まず航空交通の安全性という基本的な要件より、現在の技術で実行可能な複数航路型の広域航空交通管制方式 (*Extended control system*) の導入を提案し、そのシミュレーションモデルを作成する。そして、この方式の航空輸送システムの顕在的機能への寄与に関しては、上述のシミュレーションモデルを基礎とする待ち情報システムを認知情報システムとし、潜在的逆機能面に関しては、やはり上述のシミュレーションモデルを基礎とする予測航空機騒音被害システム (*NEF* モデル) を認知情報システムとし、計画主体間に鋭い対立が存在する場合の計画情報処理について研究することとする。

第6章においては、以上の諸研究の結果を総括するとともに、社会的計画システムと輸送システム整備計画における本論文の位置付けを、学習過程論的視点にもとづいて、改めて問うことにする。



## 第1章 参 考 文 献

- 1) R. バック ミンスター・フラー 「宇宙船「地球号」」 ダイアモンド社 (1972)
- 2) ロバート・L. ハイブローナ 「歴史としての未来」 ペリカン社 (1970)
- 3) 昭和48年版 「運輸経済図説」 運輸経済センター (1973)
- 4) 竹内 郁郎 “マスコミュニケーションの機能” 「社会的コミュニケーション」  
培風館 (1967) PP. 402~415
- 5) (1) M.K. Starr “Planning Models” MS., 13 (1966) PP. 115-141 .  
(2) R.O. Mason “A Dialectical Approach to Strategic Planning” MS., 15 (1968)  
(3) 吉川 和広 「土木計画とOR」 丸 善 (1969)  
(4) 木俣 昇, 春名 攻 “計画システムに関する一考察” 第25回土木学会年次学  
術講演会 (1969)  
(5) 木 俣 昇 “システム分析の問題点” 「港湾投資の地域開発に及ぼす  
効果に関する調査報告書」第  
5章 (1970)  
(6) 前 田 康 博 “政治状態の概念—社会物理学のために—” 思想 549 (1970)  
PP. 289~304
- 等々
- 6) 桑原 万寿太郎 「動物と太陽コンパス」 岩波新書 (1963)
- 7) 吉 田 民 人 “情報科学の構想” 「社会的コミュニケーション」  
培風館 (1967) PP. 1~287
- 8) 前 掲 7)
- 9) Mihajlo D. Mesarovic “Multi-level Systems and Concepts in Process Control”  
Proceedings of the IEEE, (1970) PP. 111-125.
- 10) 前 掲 9)
- 11) 前 掲 9)
- 12) 木 俣 昇 “輸送手段の分担率推定に関する行動科学的考察”  
第25回土木学会年次学術講演会 (1970)
- 13) 松 下 寛 “現代における科学技術のあり方” 創造の世界 (1974)  
PP. 66~81
- 14) 平松 啓二 訳 「技術評価の工学入門」 オーム社 (1973)

## 第2章 認知情報システムとしての待ち情報 システムの諸特性に関する研究

### 第1節 緒 言

著者は、計画概念をシンボル性記号の獲得にともなう人間における意味作用の進化、すなわち、認知－指令作用が分離し、新たに評価作用が発生し、 $CED$ 変換構造を形成したこととの関連で把握するという視点を提出した。この構造化に従えば、まず最初に認知部分に関する合理化、科学化が、計画の合理化、科学化にとって必要となる。

さて、われわれが輸送システムを整備しようとするのは、それが社会に有用な機能をもたらすからである。それが十分な機能をもたらさないのであれば、輸送システム整備計画は社会的可能態とはなりえない。第1章第3節で論じたように、輸送システム整備計画には潜在的機能を含めて種々の機能面が考えられるが、輸送システム整備という特定の計画を実施しようとする直接の動機は、その顕在的機能に大きな価値を認知するためである。そこで、計画情報処理においては、この顕在的機能の価値の認知が1つの重要な課題となる。

輸送システムの顕在的機能は、人、物等の輸送対象物の  $OD$  間の安全・確実・迅速な移動にある。ところが、このプロセスにはいくつかの非同期性が関連してくる。1つには、特に本論文が対象とする長距離輸送にあっては、船舶、航空機のルート通行に、潮流、風、天候等の自然状態、交通輻輳状態等不確定な要因が作用するが、現在の船舶、航空機には、これらの影響を吸収し、スケジュール運行を確保するだけの能力を期待できないことによる。1つには、これら輸送システムにあっては、大きさ、速度等の異なる輸送手段が混在しており、複雑な混合流を形成することによる。また、1つには、ターミナルにおけるサービスに、積載量の多少、異なる作業の混在等の要因が作用することによる。

以上述べたように、輸送システムには非同期性の原因となるものが多数内包されており、その結果、輸送対象物の  $OD$  間の移動に、待ち、遅延が生じることになる。明らかに、この待ち、遅延は、安全・確実・迅速という輸送システムの顕在的機能を阻害するものである。そこで逆に、この待ち、遅延に関する情報を介して、顕在的機能を間接的に把握しようという考え方がでてくる。

このような考え方は、待ち行列理論モデルやシミュレーションモデルを待ち、遅延に関する情報システムとして導入することによって、すでに多くの論文で試みられているところである。<sup>1), 2)</sup>そして、今や輸送システム整備計画の分野におけるパラダイムとなりつつある。

さて、計画情報処理における認知の過程は、(1)対象  $S$  (現実システム、計画案)を目的に応じて構造化し、(2)その論理モデル  $\hat{S}$  を作成し、(3)その操作を通じて対象に関する認知を深めるという3段階よりなる、トップダウン (*Top-down*)、ボトムアップ (*Bottom-up*) を反復する過程として把握できる。

例えば、記述的分析（*Descriptive analysis*）<sup>3)</sup>が目的であれば、構造化は現輸送システムの分析を通じてなされ、それにもとづき計画段階レベルに応じた論理モデルを作成し、その機能が、物理的耐用年数の間でどのように変化するかを操作を通じて認知しようとする過程となる。一方、処方的分析（*Prescriptive analysis*）<sup>4)</sup>が目的ならば、(1)の段階は、計画手段を陽表的に組入れた形でなされ、その効果を操作を通じて認知しようとする過程となる。

第1章第2節で論じたように、この過程は計画段階レベルによって異なり、認知部分の合理化、科学化には、単に論理モデルの導入による認知情報システムの科学化だけでなく、計画段階との適合性をもった認知情報システムの選択ということが重要となる。

前述したように、輸送システム整備計画において、輸送システムにおける待ち、遅延に関する情報システム（以後においては、単に待ち情報システムと呼ぶ）は、基本的情報システムの1つとして、論理モデルの導入による科学化が広く研究されるようになったが、従来の研究においては、認知情報システムとしての諸特性について論じているものは少ない。そこで、著者は、適合性をもった情報システムを合理的に選択するための基礎として、待ち情報システムの認知情報システムとしての諸特性について論じることとする。

まず、第2節においては、輸送システムの基本的待ち構造を明らかにし、その構造化について論じる。

第3節においては、その論理モデルを、(i) 確率事象の記述方式と、(ii) 時間の進行方式とによって4つのカテゴリーに分類し、論理モデル化の過程を論じるとともに、ストラータ、記述可能領域、操作性、創造性等認知情報システムとしての一般的特性について考察する。

第4節においては、2、3の論理モデルを用いて、その特性のうち特に操作性について数値的に検討する。

そして、第5節においては、輸送システム整備計画に共通する3つの基本的課題を取りあげ、論理モデルを用いてその認知を試みることとする。

## 第2節 輸送システムの基本的待ち構造

本章第1節で述べたように、計画情報処理における認知の過程は、3つの段階よりなるトップダウン、ボトムアップの過程であり、その最初の段階に、対象の目的に応じた構造化がある。著者は、まず本節においては、論理モデル化との関連性のもとで、輸送システムの基本的待ち構造を明らかにする。

さて周知のように、待ち行列系のシステムは、(1)客とその到着事象、(2)サービスに関する事象、それに(3)施設の量と配置という3つのカテゴリーによって特徴付けられる。この3つのカテゴリーと、前章図1-8で示した輸送システムの価値形態を形成する3つの要素群との対応関係を通して、Sに対する論理モデル化の手法として待ち行列のシステムモデルの使用が可能となる。輸送システムのサブシステムであるターミナルシステムにおいては、この対応関係は比較的直接的であるが、ルートシステムでも若干の修飾、例えば航路をレーン、ブロックに分割し、それが窓口として直列に配置されているとすると、横断船に対して主航路の通航船舶の間隔が、窓口の開いている時間であるとするとかという修飾をすれば、この対応関係を確立することができる。

本論文が対象とする輸送システムは、このような構成要素上の対応という一般論的な関係としてだけでなく、(1)、(2)および(3)に関する特徴的な構造化がさらに可能である。次にそのような構造化を行なっておく。

### 1. 到着に関する事象

客には、船舶、航空機等の「輸送手段」と、貨物、人等の「輸送対象物」とがある。本論文では、主として前者を扱うが、両者を同時に考えれば、2重待ち合せ系（*Double ended queues*）となる。<sup>5)</sup>客の種類は、大型、小型；高速、低速等が混在している。しかし、一般的には公共輸送システムということより客は優先権（*Priority*）をもたない。

客の到着分布は、図2-1に示されるように、「ポアソン分布」と仮定しうる<sup>6)</sup>ものが多いことが数多く報告されている。これは、航空輸送システムのようにスケジュールがあっても、交通制御が弱く、種々のランダムネスを吸収しえず、結果的にポアソンとなるからである。到着率については、生活時間帯との関係の強弱によってピークをもつもの、ほぼ一定のものがある。前者は、ラッシュ現象とい

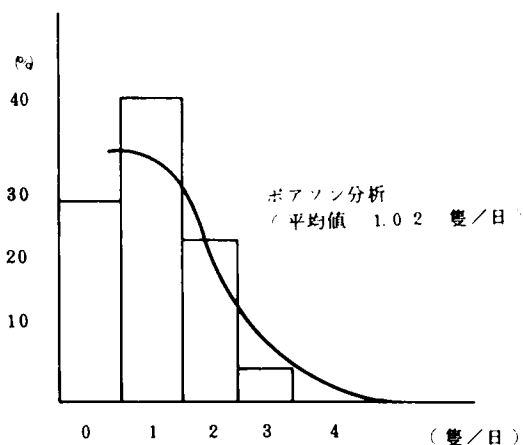


図 2-1 船舶の到着分布（大阪港 昭和40年）

われ、動的な取扱いが必要となる。

## 2. サービスに関する事象

対象は公共輸送システムであるから、前述したように客には優先権はなく、一般論的にはサービス規約は、*FCFS* (*First Come First Service*)<sup>7)</sup>である。しかし、安全性という観点より、空港滑走路における着陸機のように優先権が認められる場合もある。<sup>8)</sup>(*Priority queue*)。その他に、1.で述べた2重待ち行列(*Double ended queue*)、第3章で論じる集団サービス(*Bulk service queue*)<sup>9)</sup>等の特殊なものもある。

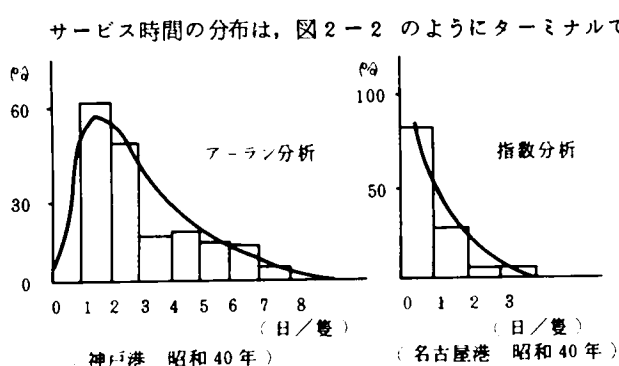


図2-2 サービス時間分布

サービス時間の分布は、図2-2のようにターミナルでは指数形よりアーラン形と多様なものが報告<sup>10)</sup>されている。ルートシステムでは、定義によって異なるが、サービス時間をルート通過所要時間とすれば、正規分布に近くなってくる。また、サービス時間は、サービスメカニズムに関連するものであって、メカニズムの変更という形で有力な計画手段となるものである。1.の項に比べて若干複雑でいくつかの形があるといえるが、ター

ミナルに限定すれば、指数分布かアーラン分布であるといえる。

## 3. 輸送施設の量と配置

ターミナルシステムにおける施設の量と配置の基本形には、図2-3に示すように、(1)「並列形」と(2)「直列形」がある。現実のターミナルは、これが結合され、図2-3(8)のようなネットワーク

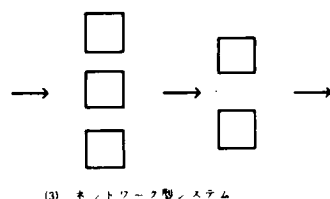
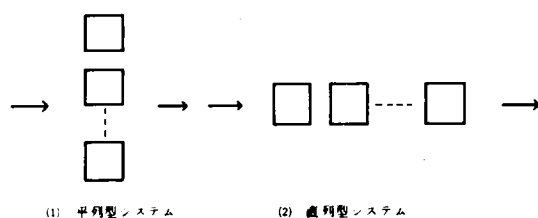


図2-3 ターミナルシステムの基本形

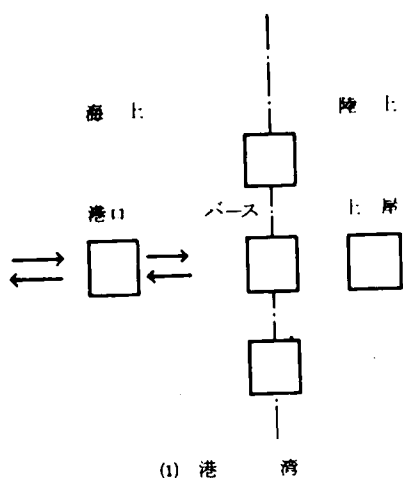
構造になっている。図2-4は、その1例として、港湾、空港における輸送施設の配置を示したものである。

ルートシステムにおいては、図2-5に示すように、「直線部」と「交差部」とがある。

また窓口には、港湾におけるバースのように、客の種類によってサービスが不可能になる場合、空港滑走路のように、2種類の客にサービスする場合等のような施設が存在することも1つの特徴である。

「輸送手段」は、施設がふさがっておれば当然待たなければならない。その場所である泊地、ホールディングエリア等は、物理的、経済的な理由で有限である。そして本論文が取扱うようなシステムでは、1単位の待ちスペースが大きいため、あまり大きくすることはできないという特徴をもつ。

以上のようにみえてくると、本論文が対象とするシステムは、



- (i) 到着は、ポアソン分布に従う。
  - (ii) サービスは、指数あるいはアーラン分布に従う。
  - (iii) ネットワーク構造になっている。
  - (iv) システムの大きさにかかなり強い制約がある。
  - (v) 一般には、FCFSであるが、優先権を認める方式もある。
- としてさらに構造化を進めることができるだろう。

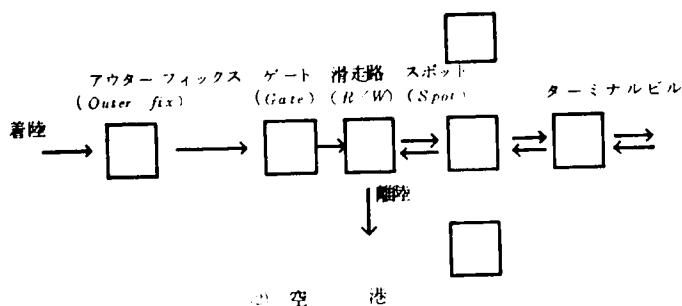


図2-4 ターミナルシステムの構造

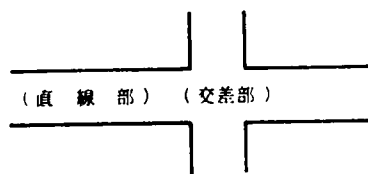


図2-5 ルートシステムの基本形

これらを要約すれば、ケンドール記号 (Kendall's notation) を用いて、 $M_1 / G_1 / S_1 (N_1) / \dots / G_n / S_n (N_n)$  とできるであろう。<sup>11)</sup> 本章次節以後において、このようなシステムを構成する基本的要素として  $M / M / 1 (N)$ ,  $M / E_k / 1 (N) \rightarrow E_k / 1 (N_2)$  等に関するシステムモデルについて、その情報システムの構造、階層性を明らかにし、その特性について調べるとともに、その結果を適用して、輸送システムの整備計画に共通して有用な基本的情報を明らかにしていく。

### 第3節 待ち情報システムの構造と諸特性

第2節で述べたように、輸送システムの基本構造は、一般には  $M/G/S(N)$  を基本単位とする大規模なネットワークであって、そこにおける待ち、遅延の科学的把握には、論理モデルの導入が必要となる。本節では、待ち情報システムの論理モデルの構造を明らかにするとともに、計画段階との適合性をもつ認知情報システムを選択するための情報として、それらの諸特性について考察することにする。

#### 1. 待ち情報システムの論理構造

待ち行列系のシステムモデルに関する研究分野には、既に多数のすぐれた研究成果の蓄積がある。特に、<sup>12)</sup> Saaty (1957)、<sup>13)</sup> 森村 (1963)、および <sup>14)</sup> Bhat (1969) の待ち行列に関する総括的な論文や「応用待ち行列事典」<sup>15)</sup> (1971) は、このような総合的な検討にとっては重要な資料である。

著者は、まずこれら資料をもとに、待ち情報に関する論理モデルの構造について考察することにする。

待ち行列系のシステムの挙動は、系の長さ  $X(t)$ 、待ち時間  $W_n$  に関する確率過程として表現される。この確率過程を記述するには、(i) 確率事象（到着、サービス）の記述手法と (ii) 時間の進行手法とが基本的事項として必要となる。大まかにいうと、(i) については、確率過程論を基礎とする数学的記述と乱数を基礎とするモンテカルロ法による記述とがあり、(ii) については、 $\Delta t$  時間ごとに時間を進める一定時間増分法 (*Time slicing method*) と、ある事象に注目し、その事象の生起によって時刻を進める可変時間増分法 (*Event sequence method*) とがある。従って基本的にはモデルは表2-1に示すように4種類に分かれる。待ち行列理論モデル、シミュレーションモデルの区別は、(i) に関する手法によるもので

表2-1 論理モデルの分類

確率事象の記述 時間の進行	確率理論	擬似乱数
<i>Time slicing</i>	$QM(1,1)$	$QM(1,2)$
<i>Event sequence</i>	$QM(2,1)$	$Q(2,2)$

あることが判る。本節ではこれらのモデルの記述構造を考察することによって、その特性を明らかにしていく。

理論モデル系  $QM(1, J)$  は、システムのマルコフ性に着目し、マルコフ過程（出生、死滅過程）の理論によってシステムの挙動を記述する。第

2節で述べたように、到着分布は、ポアソン分布と仮定される。従ってサービスが指数分布に従うのであれば、任意時点でのシステム内人数  $X(t)$  は、マルコフ過程（出生、死滅過程）をつくる。従ってこの変量に着目し、

$$P_m(t) = Pr \{ X(t) = m \} \quad (2-1)$$



とすれば、時刻  $t$  と  $(t + \Delta t)$  との間で微分差分方程式 (*Difference - differential equations*) が成立する。今  $M/M/1$  と仮定すれば、

$$\left. \begin{aligned} P_m(t + \Delta t) &= P_m(t)(1 - \lambda \Delta t - \mu \Delta t) + P_{m-1}(t)\lambda \Delta t \\ &\quad + P_{m+1}(t)\mu \Delta t + o(\Delta t) \\ P_0(t + \Delta t) &= P_0(t)(1 - \lambda \Delta t - \mu \Delta t) + P_1(t)\mu \Delta t + o(\Delta t) \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

という関係が導かれ、この式を整理し、 $\Delta t$  で両辺を除いた後、 $\Delta t \rightarrow 0$  とすることによって、

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_m(t)}{dt} &= -(\lambda + \mu)P_m(t) + \lambda P_{m-1}(t) + \mu P_{m+1}(t) \\ \frac{dP_0(t)}{dt} &= -(\lambda + \mu)P_0(t) + \mu P_1(t) \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

という微分差分方程式に変換される。式(2-3)の誘導過程より判るように、これは時間軸を  $\Delta t$  (一定)間隔で分割し、 $\Delta t$  ごとに時間を進行させるという一定時間増分法によるものであって、著者の分類法によれば、 $QM(1, 1)$  になる。

この微分差分方程式による記述は、サービスがアーラン分布になっても  $Y(t)$  をサービス中の客の位相とすれば、 $(X(t), Y(t))$  が2次元のマルコフ過程をつくることに着目すれば適用できる。 $k$  次のアーラン分布は、 $k$  個の指数分布の和として書かれるが、この記述方法は指数分布の性質と密接に関係している。サービスが指数分布であるならば、2重待ち行列系、集団サービス、優先権のある場合のものについても同様のアプローチが可能である。

$QM(1, 1)$  の論理モデルでは、時間軸を微小区間  $\Delta t$  に分割するが、数字モデルに共通する操作性によって、何のロスをとまわず、 $\Delta t \rightarrow 0$  にできるため、システムの記述時点は、図2-6(2)に示すように連続的となる。

一方、サービスが一般分布になると、 $X(t)$  はもはやマルコフ過程とならない。しかし、到着がポアソン分布であるので、客のサービス終了直後の系の長さの系列  $\{X(t_n)\}$  は、マルコフ連鎖をつくる。これは、隠れマルコフ (*Imbedded Markov*) と呼ばれている。このようなマルコフ性に着目して、システムの挙動を数学的に記述することができる。すなわち、 $n$  番目の客が立ち去った直後の系の長さ、 $X(t_n)$  が  $i$  であったとき、次の  $(n+1)$  番目の客が立ち去った直後の系の長さ、 $X(t_{n+1})$  が  $j$  になる条件付き確率を

$$P_{ij}(t_{n+1}) = P(X(t_{n+1}) = j | X(t_n) = i) \quad (2-4)$$

とすれば、定常状態における  $P_{ij}$  は

$$\begin{cases} P_{0j} = k_j \\ P_{ij} = k_{j-i+1} & (i > 0, j-i+1 \geq 0) \\ = 0 & (\text{他の場合}) \end{cases} \quad (2-5)$$

となる。

ここに、

$$k_m = \int_0^\infty \frac{e^{-\lambda v} (\lambda v)^m}{m!} d\beta(v) \quad (2-6)$$

$\beta(v)$ : サービス時間の分布

従って、システムの遷移確率行列  $P$  は、

$$P = \begin{pmatrix} k_0 & k_1 & k_2 & \dots \\ k_0 & k_1 & k_2 & \dots \\ 0 & k_0 & k_1 & \dots \\ \vdots & 0 & k_0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} \quad (2-7)$$

となる。

この方法では、時間は

$$\Delta t_n = t_{n+1} - t_n \quad (2-8)$$

で進行し、可変時間増分法である。

待ち行列系の状態変数には、その他に待ち時間  $W_n$  がある。これに着目し、 $n$  番目の客と  $(n+1)$  番目の客との待ち時間  $W_n$  と  $W_{n+1}$  との関係式

$$\begin{cases} W_{n+1} = W_n + u & W_n > 0 \\ W_{n+1} = u & W_n \leq 0 \\ u = v - t \end{cases} \quad (2-9)$$

を用いてシステムの挙動を記述するという方法もある。ここに  $t$  は  $n$  と  $(n+1)$  番目の客の到着間隔、 $v$  は  $n$  番目の客のサービス時間である。この方法も可変時間増分法であって、 $QM(1,2)$  に分類され、記述時点は、図 2-6(4) に示すように離散的となる。

この他に拡散方程式による近似 (*Diffusion approximation*)<sup>17)</sup> の方法もあり、 $QM(1,J)$  で

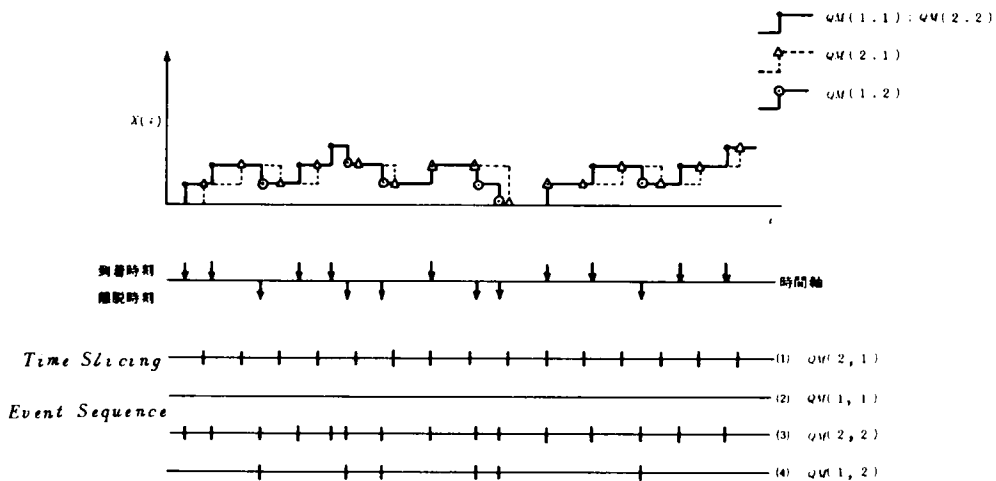


図 2-6 論理モデルの記述時点

かなりの範囲の対象を記述することができる。しかし、このモデルの特徴を操作性に求めるとすれば、記述できても解がシンプルな形で求められなければ、その特徴を十分に発揮できない。後で述べるように、解がシンプルな形で求められるものは非常に少ない。それどころか、解が計画手段に対応する 3 つのパラメータ、 $\lambda$ 、 $\mu$  および  $S$  を陽表的に含む形で求められるものさえ少なく、記述可能領域が狭いという欠点をもっている。

一方、シミュレーションモデル系  $QM(2, J)$  は、乱数を基礎とし、時間の進行方法によって、図 2-7 (1), (2) というフローチャートに分れる。

まず、客の到着、サービスの終了という確率事象は、擬似一様乱数と階段関数によって離散的に表現された分布関数とによって記述される。分布関数の離散的表現によって、任意の確率分布を扱うことが可能となるが、精度の方は低下する。また、一定時間増分法の場合には、 $\Delta t$  が大きければ、図 2-6 (1) のように情報の欠落が多くなるし、 $\Delta t$  が小さくなれば、繰返し回数が増大し、情報、時間、費用のロスがともなう。待ち行列系のシミュレーションモデルには、このため  $QM(2, 2)$  のモデルが使用されるのが一般的である。

$QM(2, 2)$  の場合には、図 2-6 (3) より判るように情報の欠落は起らない。現在、シミュレーションモデルといえは、コンピュータシミュレーションを意味するが、この場合、離散的表現をとるということ、理論モデルが到着、サービス時間分布、および施設に関する情報だけで構造化できるのに比して、シミュレーションモデルの場合  $FCFS$ 、行列の形成、システムサイズを越えた場合の処

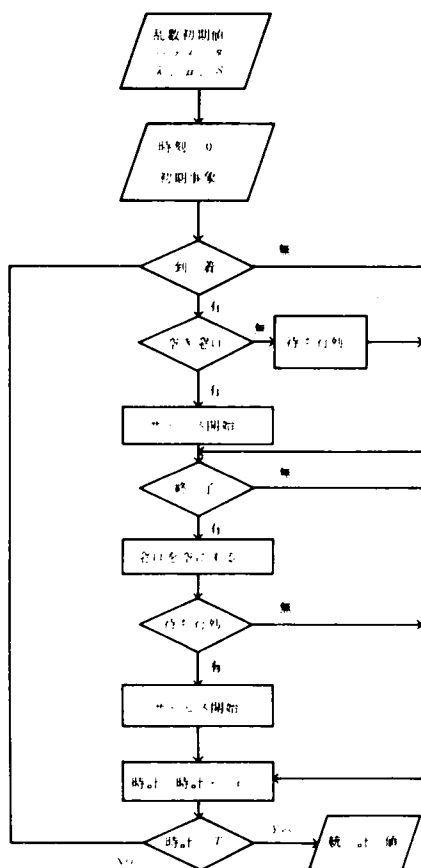


図 2-7 (1) 一定時間増分法によるシミュレーションモデル

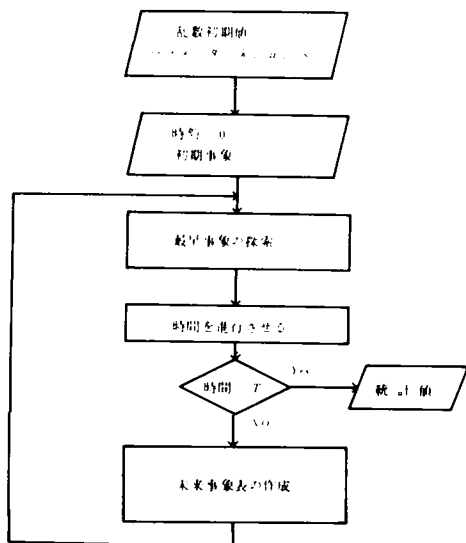


図 2-7 (2) 可変時間増分法によるシミュレーションモデル

置など論理構造化しておかねばならない記述要素数の増加にともない、記述可能領域は制限されることになる。しかし、記述要素の数が多いことは、創造性の機能と関連するものであることを指摘しておきたい。また、シミュレーションモデルが、その使用する擬似乱数の特性に大きく規定されるものであることも合わせて記述しておきたい。

## 2. 待ち情報システムのストラータ

以上においては、著者は、記述構造からみた論理モデルの分類と、それにもとづく特性について考察した。ここでは、第 1 章第 2 節で述べた情報システムのストラータとその機能という視点より考察することにする。

さて待ち情報の記述レベルの階層は、図 2-8 に示すような階層的構造として示することができる。すなわち、初期値  $i$ 、利用率  $\rho(t)$  を所与としてスタートしたある系列の状態  $X(t)$  に関する記述を最下位に、時刻  $t_1$  におけるこの値の分布  $P_{i,n}(t_1) = P(X(t_1) = n | i, \rho)$ 、さらにそこで  $t \rightarrow \infty$  としたときの分布  $P_n$  というように記述レベルが上っていく。そして、最上位に  $P_n$  に関するアグリゲーション変数 (aggregation variable<sup>18)</sup> としての平均システムの長さ  $L$ 、分散  $Var(n)$  等という情報を置くことができるだろう。

1. の構造分析より判るように、一般に待ち行列理論モデルでは、 $P_{i,n}(t)$  に関する記述レベル以上の階層が、逆にシミュレーションモデルでは、 $X(t)$  に関する記述レベルのみが得られる。

第 1 章第 2 節で論じたように、計画階層レベルが上位になれば、 $P_{i,n}(t)$  以上のストラータが必要となり、下位になれば、 $X(t)$  のレベルのストラータが必要となる。

一般論的には、下位のストラータの情報が求められるならば、階層構造に従って上位のストラータが得られる。数学モデルの場合には、 $P_{in}(t)$  より  $P_n$ ,  $L$ ,  $Var(n)$  と論理的斉合性をもって求めていくことができる。しかし、前述したように、下位のストラータのものを求めるのは極端に困難であるし、 $M/M/1$  という単純な場合ですら、

$$P_{in}(t) = (1-\rho)\rho^n + e^{-(\lambda+\mu)t} \left[ \rho^{(n-i)/2} I_{i-n}(2\sqrt{\lambda\mu}t) + \rho^{(n-i+1)/2} I_{i+n-1}(2\sqrt{\lambda\mu}t) - (1-\rho)\rho^n \sum_{k=0}^{n+i} \rho^{-k/2} \cdot I_k(2\sqrt{\lambda\mu}t) \right] \quad (2-10)$$

と複雑になる。

ストラータが上がると、

$$P_n = (1-\rho)\rho^n \quad (2-11)$$

と急に単純になり、 $\lambda$ ,  $\mu$  という計画パラメータと待ちとの関係を直接的に認知することが可能となってくる。

一方シミュレーションでは、下位の階層より上位の階層のものを求める手続きは数学モデルのように簡単ではない。例えば  $P_{in}(t)$  を求めるためには、擬似乱数の初期値を変えて繰り返し  $X(t)$  を求める手続きが必要となる。さらに  $P_n$ ,  $L$  を求めるためには、十分に長大なシミュレーションランをもつ  $X(t)$  を、繰返し求める必要があるし、 $X(t)$  が自己相関をもつことなどを考慮する必要がある。このような意味でシミュレーションに関する研究分野では  $X(t)$  より  $P_n$ ,  $L$  を求める研究が、多数なされてきている。

以上の考察より、(1) 待ち行列理論モデルは、記述可能領域は狭いが、操作性に優れ、一般にそのストラータは高く、上位のレベルの計画に適合する、(2) シミュレーションモデルは、記述可能領域が広く、低いストラータの情報を提供することができ、下位のレベルの計画に適合するが、操作性に難があるため、補助情報処理システムが必要となるといえる。

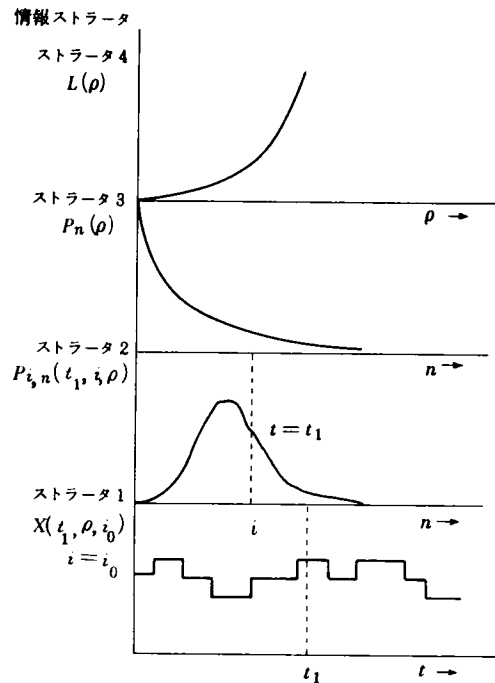


図2-8 情報とその記述階層レベル

## 第4節 待ち情報システムの特性に関する数値的検討

著者は、第3節において、待ち情報システムの論理モデルの特性を、記述構造とストラータという視点より考察し、待ち行列理論モデル、シミュレーションモデルの一般的な特性を明らかにした。本節においては、さらに両モデルのいくつかの特性について、より具体的に、数値的に検討していくことにする。

### 1. $M/M/1$ の理論モデルによる考察

このシステムに関しては、前述したように、 $P_{i,n}(t)$  のレベルのストラータまで理論モデルで求められる。そして、 $P_{i,n}(t)$  より、次々に上位のストラータの情報が求められる。すなわち、

$$P_n = \lim_{t \rightarrow \infty} P_{i,n}(t) = (1-\rho)\rho^n \quad (2-12)$$

$$L = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n = \rho/(1-\rho) \quad (2-13)$$

$$Var(n) = \sum_{n=0}^{\infty} (n-L)^2 P_n = \rho/(1-\rho)^2 \quad (2-14)$$

ここで、 $\left[ \lim_{t \rightarrow \infty} \right]$ 、 $\left[ \sum_{n=0}^{\infty} \right]$  という操作の論理的斉合性は保証されている。

また、 $P_n$  のレベルのストラータの情報のみが要請されているとすれば、式(2-3)で、 $t \rightarrow \infty$  とすることによって、連立微分方程式は差分方程式に変換され、式(2-10)という複雑な解を経ずして、直ちに式(2-12)の解が得られる。さらに上位のレベルのストラータについては、母関数  $G(z)$

$$G(z) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n z^n \quad (2-15)$$

より直ちに、

$$L = \left. \frac{dG(z)}{dz} \right|_{z=0} \quad (2-16)$$

$$Var(n) = \left. \frac{d^2 G(z)}{dz^2} \right|_{z=0} - L^2 \quad (2-17)$$

と求められる。

上述のように、理論モデルの場合には、下位ストラータより上位ストラータへの移行は数学的な操作でなされる。また、必要とされるストラータが上位になればなるほど、解法は容易になり、解の形

も単純なものとなる。しかし、必要とされるストラータが低ければ、 $M/M/1$  のような単純なシステムであっても、式(2-10)のように複雑になり、直接的認知は困難であって、図的表現を必要とするのである。図2-9は、式(2-10)を数値計算し、作図したものである。この図化によって、システム内人数  $n$  の分布が時間とともに正規形を経て、定常分布である指数形に遷移していくダイナミックスを理解することが可能となる。

## 2. $M/M/1$ のシミュレーションモデルによる考察

可変時間増分法によるフロチャートに従って、*FORTRAN* でプログラミングしたモデルを使用し、シミュレーションモデルに関連する2, 3の問題について論じる。

前節で指摘したように、シミュレーション結果は、使用する擬似乱数の性質に大きく規定される。そこで本モデルで使用する擬似一様乱数は、 $KUNIRN(X, IX, K)$ <sup>19)</sup>として、*FACOM 230-60*のSSLに入れているものであることを付言しておく。

シミュレーションモデルで直接得られる情報のストラータは、 $X(t)$  のレベルのものであるため、上位のストラータの情報を得るためには何らかの操作が必要となる。

例えば、図2-8の階層モデルより判るように、 $X(t)$  より  $L$  の推定を行うためには、まず  $t \rightarrow \infty$  とし  $P(X=n)$  を求めるプロセスが必要となる。シミュレーションでは  $t \rightarrow \infty$  は不可能な操作であって、有限時間での操作が必要となる。そこで  $X(t)$  の確率過程の性質を把握し、その知識を用いて有限時間での操作で  $\hat{L}$ ,  $\hat{var}(X)$  を推定するというプロセスが必要となってくる。

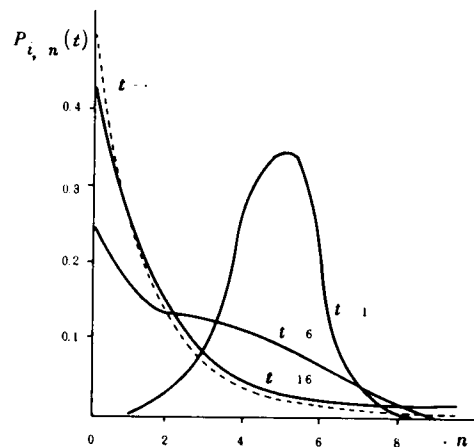


図2-9  $M/M/1$ の過渡解

( $p=0.5$   $i=5$ )

*Morse* (1955) は、 $M/M/1$ ,  $M/M/S$  の待ち行列長の自己相関係数  $f(\tau)$ , スペクトル密度関数  $g(\lambda)$  を求め、 $X(t)$  の確率過程的性質について論じた。<sup>20)</sup> この研究を基礎に、<sup>21)</sup> *Gebhard*, <sup>22)</sup> *Daley*, <sup>23)</sup> *Blomgrist*, <sup>24)</sup> *Gafarian & Ancker*, *Fishman & Kiviat* 等々による最下位のレベルの情報  $X(t)$  より上位レベルの情報  $L$  を求めるプロセスに関する諸研究がなされている。

まず、<sup>25)</sup> *Fishman* と *Kiviat* による方法に従って、待ち行列長  $X(t)$  の自己相関係数の推定値、コレログラムを計算し、図示してみる。図2-10はその1例であるが、この図より、 $\rho$  が大きくなると相関が強くなることが判る。同様に、待ち時間  $W_n$  についてのコレログラムを図2-11



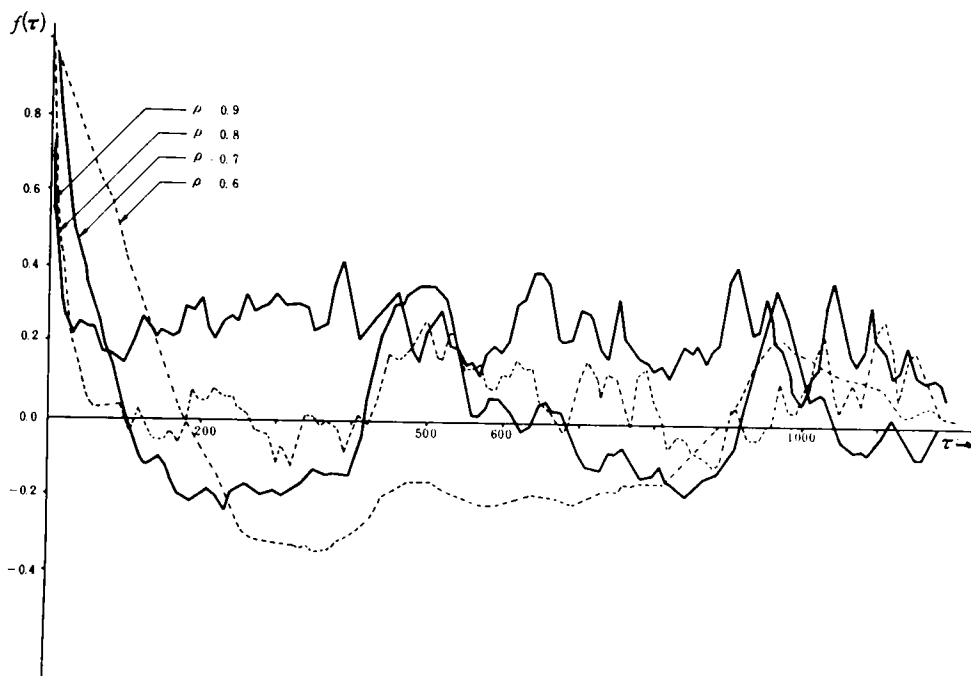


図 2-10 待ち行列長のコレログラム  $f(\tau)$

に示しておく。

また、有限時間における操作としては、繰返しの増大とシミュレーションランの延長の 2 つが考えられる。*Gafarian & Ancker Jr* は、繰返し回数の増大の方が一般的にシミュレーション精度の向上への寄与率が高いことを示している。<sup>26)</sup>

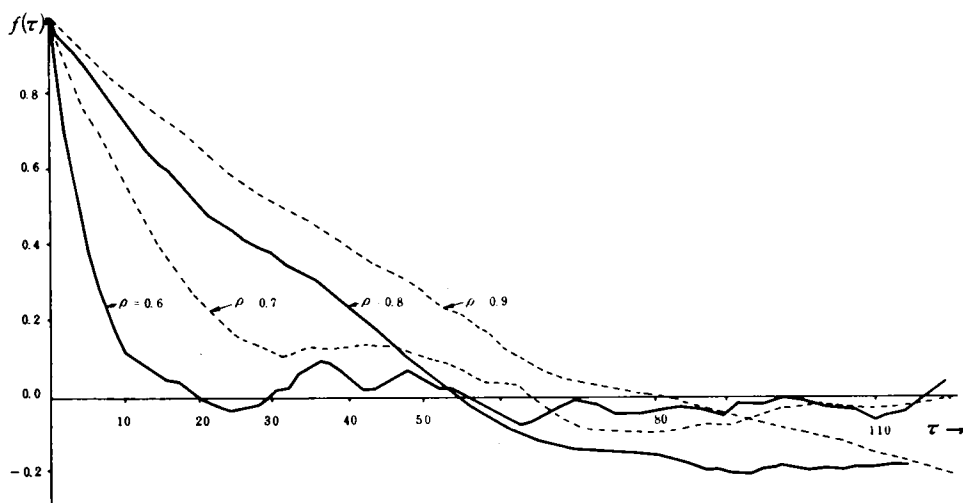


図 2-11 待ち時間のコレログラム  $f(\tau)$

最後に、シミュレーション結果による具体的事例を図 2-12, 図 2-13 に示しておく。まず、図 2-12 より、 $\hat{L}_q(t)$  はシミュレーションランが短いと大きく変動するが、シミュレーション 時間  $t$  が、 $t \geq 6000$  , サンプル数にして 1800 以上になると安定してくる状況が判る。この場合、前述のコレログラム図 2-10 より、独立な標本数は 600 程度になっていると推定される。しかし、安定領域にあっても、乱数初期値が異なると違った値に安定してくることも判る。乱数初期値をかえて繰返し回数を増大するのは、この影響を除去するためである。

図 2-13 は、 $M/M/1$  の理論値とシミュレーションによる推定値を示したものであるが、繰返し回数、シミュレーション時間を一定とすると、 $\rho$  が大きくなればなるほど、両者の乖離が大きくなること判る。その理由は、1 つには、 $\rho$  を大きくすれば自己相関が強くなり、独立な標本数を増加するためにはシミュレーション時間を長くする必要があることによる。1 つには、 $\rho$  を大きくすると分散が大きくなるため、繰返し回数を増大せねばならないことによる。*Gebhard, Daley* の指摘しているように、 $\rho$  が 1 に近づく、シミュレーションは 1 つの困難に直面することになる。

本論文で扱うようなシステムにあっては、計画手段を評価する処方的分析のような場合には、ふ頭標準能力に関する研究で示されているように  $\rho \leq 0.6$  程度が仮定されるから、この問題はあまり深刻な問題とならない。しかし現状認識のための記述的分析のような場合には、 $\rho \rightarrow 1$  を論じる必要が

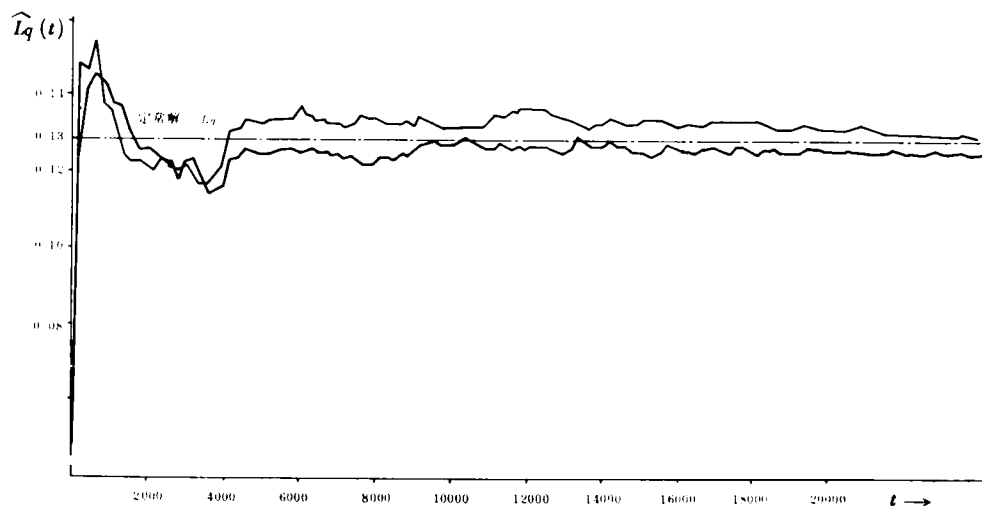


図 2-12 シミュレーション解の収束状況 ( $\rho = 0.3$ )

ある。従ってそのような場面でのシミュレーションの利用には、時間的、費用的制約についても注意しておく必要がある。ここにも著者が両モデルの適材適所の利用の必要性を強調する理由がある。

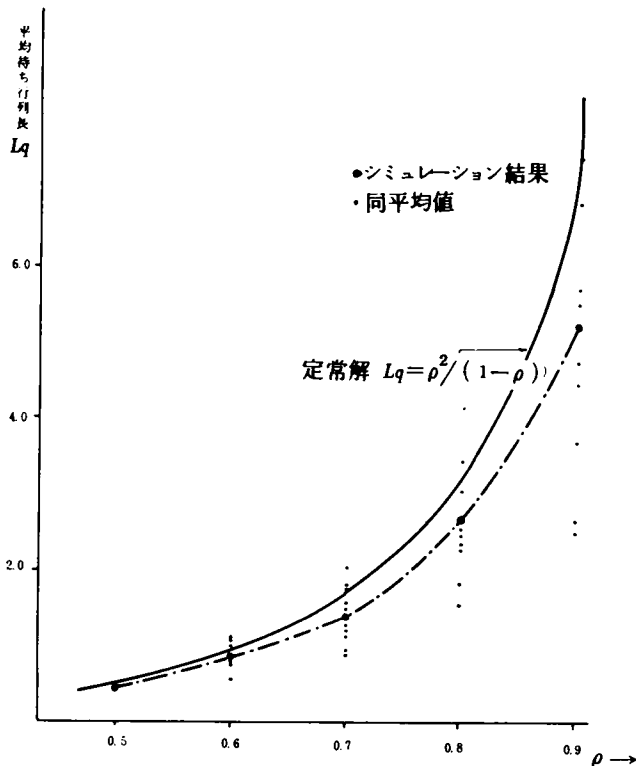


図 2-13 繰返し実験による待ち行列長の推定

### 3. $M/E_k/S$ の情報システムに関する考察

1, 2. においては, 理論モデル, シミュレーションモデルの特性について, 単純なモデルを使用することによって考察してきた。しかし, 第2節で述べたように, 現実のシステムはもっと複雑である。そこで, 1, 2. のシステムより少し複雑な,  $M/E_k/S$  のシステムをとりあげ, その情報システムについて考察することにする。

理論モデルは, 操作性に優れるが, システムが少し複雑になると記述が困難となる。 $M/E_k/S$  の場合ですら困難であって, 別の接近法が必要となる。

1つの方法は, 既知の理論モデルをもとに近似式を作成することによって有効な情報システムとしようとする方法である。

この方法には, より簡単な  $M/M/S$ ,  $M/D/S$  の待ち時間  $W_q$  に関する理論値を用いた不等式近似

$$W_q(M/M/S) > W_q(M/E_k/S) > W_q(M/D/S) \quad (2-18)$$

と、 $M/M/1$ 、 $M/M/S$ 、および  $M/E_k/1$  に関するそれを用いた Erik Maal  $\phi e$  の近似式<sup>28)</sup>

$$Wq(M/E_k/S) \simeq Wq(M/E_k/1) \frac{Wq(M/M/S)}{Wq(M/M/1)} \quad (2-19)$$

とがある。

もう1つの方法は、記述可能領域の広いシミュレーションモデルを用いるものである。

前節でも論じたように、理論モデルによるものとシミュレーションモデルによるものとでは、得られる情報のストラータも違ひ、情報獲得までの過程も違ひ。従って、使用すべき場面も異なり、単純な比較はあまり意味がないが、 $M/E_k/S$  の場合のように中間的な場合については、両モデルの比較は、両者の特性を明らかにする手掛となるという意味で有用である。そこで、著者は、理論解が求められる、 $M/E_2/2$  という場合について、両方法による近似結果を図2-14に示した。

この図より、シミュレーション

モデルが、全般的にかなりよく近似するのに対して、理論モデルによる方法は、 $\rho$  が1に近いところでのみよい近似となっていることが判る。そこで、2.における結果と合せて、 $\rho$  が比較的大きい場合、あるいはいくつかの  $\rho$  の値が想定される場合には、理論モデルによる接近を、 $\rho$  が小さい場合、あるいは、確定的な場合には、シミュレーションモデルによる接近を採用することが、有効な戦略であるといえるだろう。

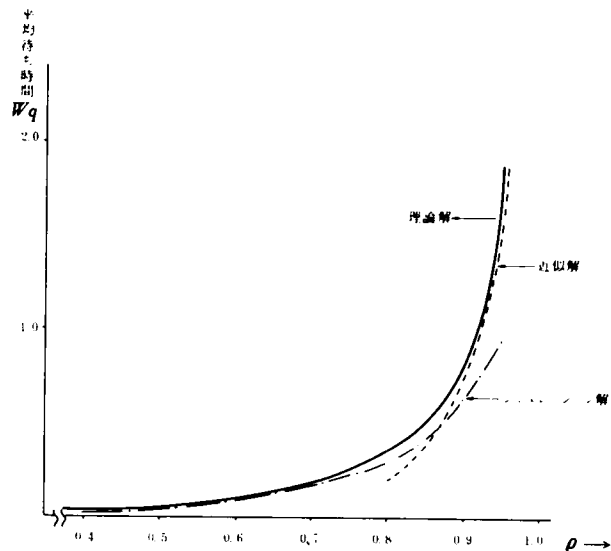


図2-14  $M/E_2/2$  に関する情報システムの比較  
(平均サービス時間=1)

## 第5節 輸送システム整備計画における基本的課題の検討

著者は、以上において輸送システムの顕在的機能に関する重要な認知情報システムである待ち情報システムの諸特性について検討を行なってきた。しかし、待ち情報システムには上述の機能以外に多くの有用な機能がある。本節ではそれらの事例として、輸送システム整備計画に共通する3つの基本的課題をとりあげ、待ち情報システムによる検討を試みることにする。

### 1. システムの動的挙動

現実の輸送システムでは、生活時間帯との関係で、到着率等のパラメーターが変化し、動的挙動を示す。輸送システム整備計画においては、このシステムの動的挙動の大略的な把握も、基本的情報として重要である。第3節でも述べたように、このレベルの情報の入手にはかなりの困難がともなう。そこで、まずこのレベルでの動的把握が可能な、 $M/M/1$ 系の理論モデルを手掛に、若干の検討を試みる。

$M/M/1$ の動的挙動は、式(2-10)で与えられる。前述したように、これは非常に複雑な形をしているため、 $\rho$ 、 $i$ をパラメータとして、 $P_{i,n}(t)$ を図示すると図2-15となる。すなわち、時刻 $t=0$ でシステム内に $i$ 単位いる状態でスタートしたシステムが、時間の経過とともに正規型の分布を経て、やがて定常分布として知られている指数形の分布へと変化していく大略的状况がこの図より把握される。

さて、第3節で述べたように、理論モデルでは、このレベルの情報は一般的には入手が困難であって、定常状態で情報が利用される場合の方が多い。そこで、定常状態で情報と現実システムとの

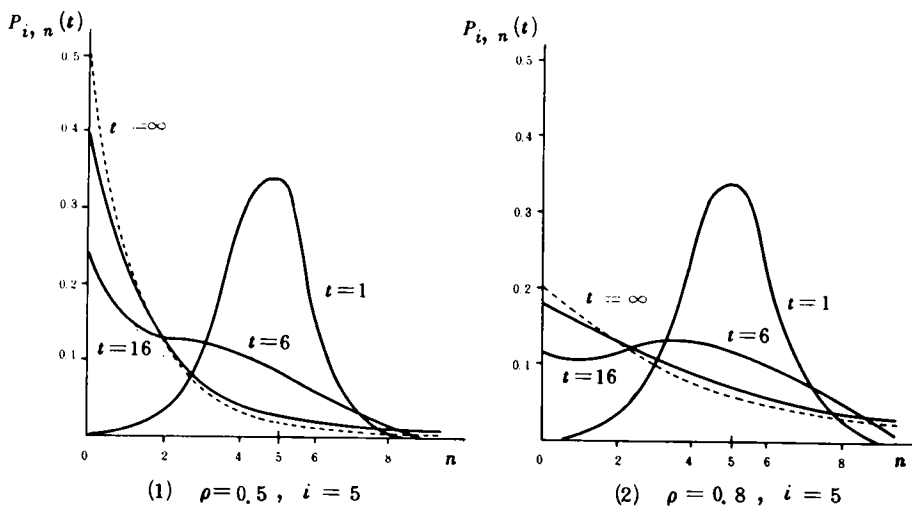


図2-15  $M/M/1$ 系の過渡解

間のギャップの把握が重要な問題となってくる。1つの考え方として、分布形が異なれば、平均値のみでは十分システムを把握することできないため、分布形の変化ということに着目する方法がある。すなわち、分布形が指数分布に変化するまでの時間をギャップ把握の測度とし、システムの運用時間が、この時間に対して十分大きければ、このギャップは許容されたとする考え方である。図2-15の計算例では、(1), (2)の場合とも  $t = 16$  (平均サービス時間の16倍と考えるべきである)で指数形分布となっている。もう1つの考え方は、システムに乱れが発生したときの回復時間の近似値とされる、

$$T = \frac{1 + \rho}{\mu (1 - \rho)^2} \quad (2-20)$$

<sup>29)</sup>を用いる方法である。これらの指標を、

$$t = \min_t \left\{ \left( \max_n \|Pin(t) - Pn\| \right) < \varepsilon \right\} \quad (2-21)$$

という厳密な収束測度と比較すると、図2-16のようになる。すなわち、近似式(2-20)は、 $\rho \geq 0.6$ においては、(1)初期値  $i$  が、システム内人数の平均値と等しい場合には、過大評価に、(2)初期値が0の場合には過小評価になっている。また第1の方法では、(1)の場合には過大評価、(2)の場合には過小評価になっている。しかし、 $\rho \leq 0.6$ においては大略の把握という目的からすればこの近似式は十分利用できるものであると思われる。

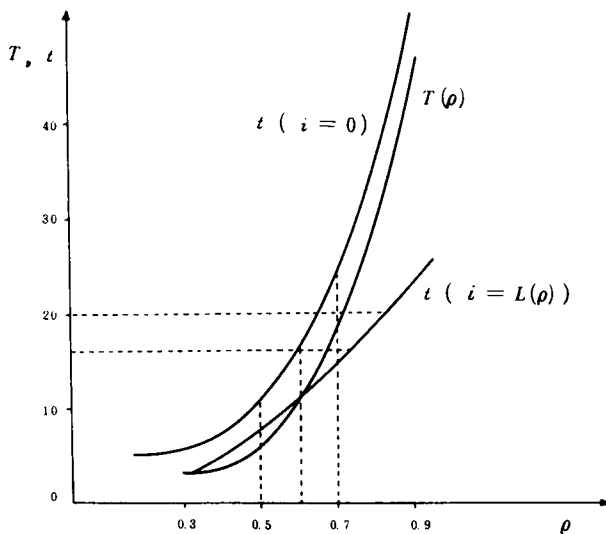


図2-16 過渡解の収束状態の指標(平均サービス時間を単位とする)

上述の議論ではシステムの運用時間については制約を設けなかった。しかし一般的には、システムの運用時間帯は、朝7時より夜9時までというように生活時間帯との関係で制限されている。この運用時間長  $T_0$  がシステムの特性に及ぼすであろう影響も考慮しなければならない基本的情報の1つである。 $T_0$  が16単位時間以上になると、前述したように分布形は指数形になりその影響は比較的少ない。しかし、これが短いと待ち行列長の分布は指数形ではなくなり、システムを把握するアグレゲーション変量の選定に影響を及ぼす。そこで  $T_0 = 8$  として、平均値が次回の初期値となる場合のシステムの動的挙動を求め、図2-17に示した。この場合では、初期値は整数に限られているために、常に同じ値が設定されてるという事態がおこり、2日目のパターンが安定的に生起してくる。一般的に有限時間の繰返しの場合には、定常状態の分布より分散の小さな分布となってくる。図2-17においても、システム内人数  $n$  が6、7と大きくなる分布の裾の方では、定常分布のそれとかなり違ってきている。すなわち、システムが有限時間での繰返しである場合には、大きな  $n$  の出現度数は定常分布より推定されるそれより小さくなっているといえる。しかし、逆にいえば、システムのブレイクダウンのような事情によって、一度大きな初期値が設定されると、その回復は、何らかの人為的な手段が行なわれないかぎり、非常に困難となることが推測されるのである。

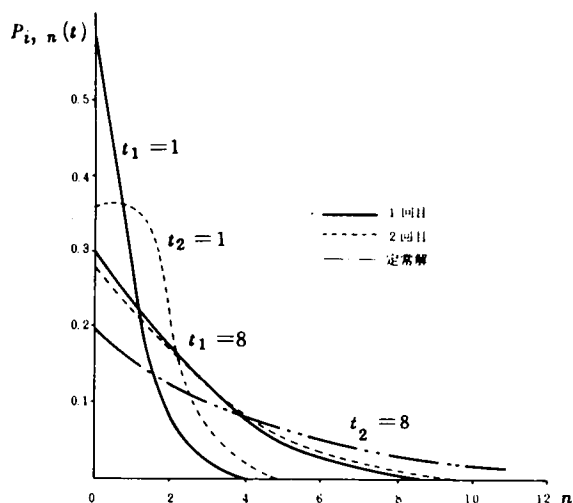


図2-17 有限時間の繰返しシステムの挙動  
( $i=0$ , 活動時間=8, 次回初期値=期待値)

図2-18は、そのような状況でのシステムの挙動を調べるために、 $t_0^j$  のときの  $P_n(t_0^j)$  の分布に従って、乱数を発生させ、それを  $(j+1)$  日目の初期値とした場合のシステムの挙動を示したものである。一度大きな初期値が設定されると回復が困難となる状況がよく判る。

以上のようなシステムの動的な挙動に関する議論は、一般に計画階層レベルが下れば下るほど重要

になる。

## 2. 運用システムの改良効果

第1章第3節で述べたように、輸送システムは、特性、作用局面の異なる3つの要素群によって構成されている。従来の整備計画においては、その1つであるハードな輸送施設群の整備が主であった。これには輸送システムのもつ歴史的背景が関与しているが、逆機能が巨大化してきた現在、ソフトな運用システムの整備、改良による輸送機能の創出が、重要な課題となってきている。そこで、この問題について待ち情報システムを用いて若干の考察を試みる。

まず、問題となるのは、サービス機構の改良方法とその効果である。直接的な改良としては、平均サービス時間の短縮による輸送手段の待ちの減少が考えられるが、他にサービス時間の分布を変えることも有効な方法であることが、ポラツェック・ヒンチン・ケンドールの式<sup>30)</sup>

$$W_q = \frac{\rho^2 + \lambda^2 \sigma_s^2}{2\lambda^2(1-\rho)} \quad (2-22)$$

より判る。ここに、 $\sigma_s^2$  は、サービス時間の分散である。

すなわち、サービス時間の分散の減少もまた待ち時間を減少させる効果をもつのである。

平均値を  $1/\mu$  とすれば、指数分布、 $k$  次のアーラン分布、一定分布の分散は、 $1/\mu^2$ 、 $1/k\mu^2$ 、0と減少する。このことは、サービスの単純作業への分割、専門化が、平均サービス時間の短縮とともに有効な計画の手段となることを示している。

次に、施設の運用方法の問題について考察しよう。

輸送施設、例えばバス、滑走路が複数個ある場合その使用法が問題となる。バスでいえば航路別使用、大型船専用等の方式の採用のような場合である。今、輸送手段が、泊地、ホールディングエリア等からサービス施設へと移動する動態を考えないとすれば、この問題は、同一の利用率をもつ、(1)  $M(S\lambda)/M(\mu)/S$  と、(2)  $M(\lambda)/M(\mu)/1$  という2つのシステムの理論解の比較によって考察できる。そこで一番簡単で、かつ基本的議論ができる  $S=2$  の場合について考察してみよう。図2-19に示すように、このシステムの運用には、(1) 到着客  $2\lambda$  を1ヶ所待たせ、2つの窓口

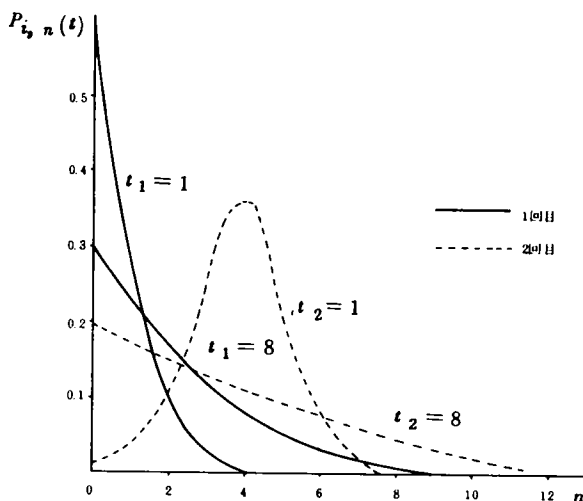


図2-18 有限時間の繰り返しシステムの挙動  
( $i=0$ , 活動時間=8, 次回初期値=期待値+分散)



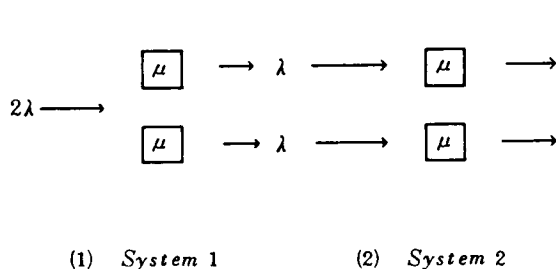


図 2-19 一体使用システムと独立使用システム

を一体的に使ってサービスする方式と、

(2) 到着を半分にして、 $\lambda$  に対して窓口、待ち合室を設け、2つのシステムを独立に使用するという方式とがある。(1) の利用

率は、 $\rho_1 = \frac{2\lambda}{2\mu}$ 、(2) のそれは、

$\rho_2 = \lambda/\mu$  となり、 $\rho_1 = \rho_2 = \rho$  と

なっている。システム内平均単位数  $L$ 、

滞留時間  $W$  は、 $M/M/S$  の理論解より(1)、

(2) に対してそれぞれ

$$L(1) = \frac{2\rho^3}{1-\rho^2} + \rho$$

$$L(2) = \frac{\rho^2}{1-\rho} + \rho$$

$$P_0 = (1-\rho)/(1+\rho)$$

$$P_0 = 1-\rho$$

(2-23)

$$W(1) = L(1)/2\lambda$$

$$W(2) = L(2)/\lambda$$

となる。(2) の方式では、2ヶ所の待ち合室がいることに注意すれば、(1)、(2)の必要スペースの比は、

$$2L(2)/L(1) = 2(1+\rho)/(1+\rho^2) > 2$$

(2-24)

システム内滞留時間比は、

$$W(2)/W(1) = 2L(2)/L(1) > 2$$

(2-25)

となり、並列、一体使用の方式の方が有利となることが判る。このシステム効果は、 $S$  が大きければ大きいほど大きくなる。しかし、輸送手段、特に航空機や船舶の低速時における運動特性を考えると、待機位置より窓口への移動は、あまりスムーズとはいえず、従って一体的使用ができる施設数にも限度があることに注意しておく必要がある。著者は、第3章における閘門施設の基本構想作成において、この考え方を具体的にとり入れている。

### 3. サブシステムのサイズ $N$ の影響

第2節で述べたように、輸送システムは、 $M/G/S(N)$  を基本サブシステムとするネットワーク構造をなしている。ところが、本論文が対象とする輸送システムにあっては、船舶、航空機が客であって、その1単位の待ちに要するスペースは非常に大きくなる。これは、輸送手段の単位が大きいことと、それらの運動特性よりくる安全性確保のためによる。従って、システムサイズ  $N$  の大きさは、物理的に制約されてくることになり、ネットワーク構造にある他の部分に影響を及ぼす要因となる。

また、これは、特に直列形システムの論理モデル化にも解析困難性という問題を与えるものである。そこで、システムサイズ  $N$  の影響について若干の検討を試みることにする。

#### (1) 並列形システムにおける $N$ の影響

まずターミナルシステムの基本モデルである並列形のシステムにおける  $N$  の影響について調べる。今、 $S = 1$  という単純なシステムを考えれば、その定常分布  $P_n$  は、 $M/M/1(N)$  の理論モデルより、

$$P_n = \rho^n (1 - \rho) / (1 - \rho^{N+1}) \quad n = 0, \dots, N \quad (2-26)$$

と、 $N$  を陽表的に含む単純な形で求められる。ここで  $P_N$  は、到着客が溢れる確率である。一般論的には公共輸送システム整備計画においては、この確率をある値以下におさえ、そして、この条件を満たす範囲内で総損失が最小となるように  $N$  が決められる。しかし、航空機や船舶のように目的地が特定のターミナルである場合には、溢れは大きな損失をとまらう。従って、現実的には無視しえる程度の確率に抑えておく必要があるだろう。図 2-20 は、 $\rho$  をパラメータとし、溢れの確率、 $P_N$  の値を示したものである。 $\rho$  の値によってももちろん違いが、 $N \geq 6$  で  $P_N \leq 0.05$  となっている。また、この場合の溢れが、近似的にポアソン過程となることを *Belyaev* が示している。<sup>31)</sup>

待ちスペースに制約がないシステム、すなわち  $M/M/1$  の理論解は、 $M/M/1(N)$  より単純で、

$$P_n = (1 - \rho) \rho^n$$

である。 $N \geq 6$  の場合、両モデルの理論解の差は、図 2-21 に示すように非常に小さくなる。

すなわち、 $N \geq 6$  であれば、溢れの確率は、0.05 以下であり、 $M/M/1$  の理論モデルで近似できるとすることができる。

#### (2) 直列形システムにおける $N$ の影響

$M/M/S$  形のシステムが  $n$  段直列に並ぶ直列形システムで、各段での待ち行列長に制限がなければ、各段のサブシステムの挙動は独立となる。例えば、システム内全待ち時間の分布は、*R.T.Nelson* によって各段の待ち時間のコンボ

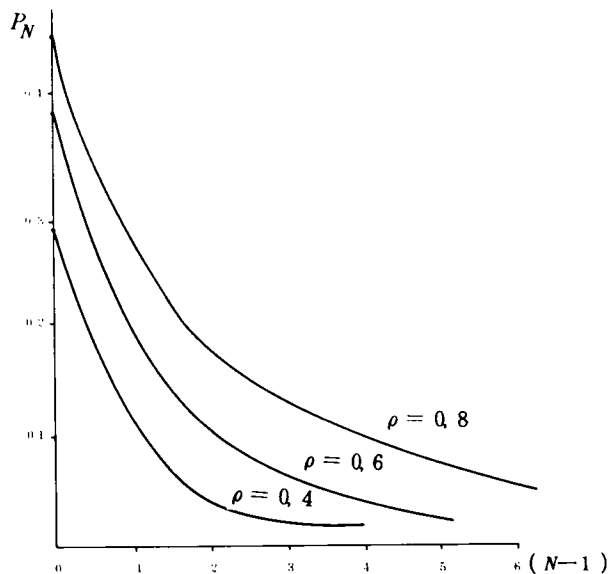


図 2-20 溢れの確率  $P_N$  と  $N$ ,  $\rho$  との関係

リユーションとして,

$$P(\sum X_j < t) = 1 - \sum_{j=1}^n A_{jn} \exp(C_j t) \quad (2-22)$$

と求められている。

ここに,

$$\left. \begin{aligned} C_j &= S_j \cdot \mu_j (1 - \rho_j) \\ K_j &= P(X_j > 0) \\ A_{jn} &= K_j \left[ \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n \left( 1 - \frac{K_k C_j}{C_j - C_k} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad j = 1, \dots, n \quad (2-23)$$

$S_j, \mu_j, \rho_j$ :  $j$  段の窓口数, サービス率, 利用率

である。<sup>32)</sup>しかし, 各段で待ち行列長に制限があったり, サービス分布が指数分布以外になったりすると各段の出力過程 (Output process) がポアソン分布とならず, 理論モデルによる厳密な解析は困難となってくる。

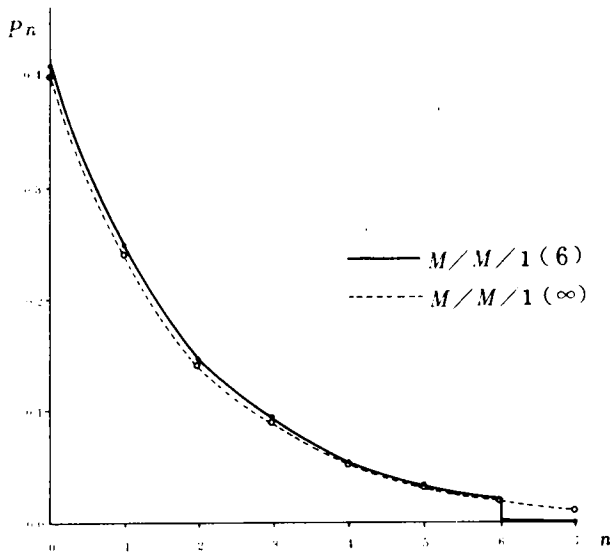


図 2-21  $M/M/1(N)$  と  $M/M/1(\infty)$  の比較 ( $\rho = 0.6$ )

この問題に対する理論的研究として,

<sup>33)</sup> <sup>34)</sup> Hunt, 牧野 による 2 段の直列,  $M/M/1 \rightarrow M/1(N)$  形の 4 つのケースにおける平均システム内人数,  $L$  の研究がある。また一般に直列形システムで 2 段目以後に待ち行列長の制限があると, いわゆるブロッキング (blocking) が生じる。そのため利用率は 1 まで上げることはできず上限ができる。Hunt は, この現象に注目しそれを  $\rho_{max}$  として研究している。Hiller と Boling は, サービス時間がアラン分布の場合についても  $\rho_{max}$  が求められる方法を研究し,  $\rho_{max}$  の近似公式による数値計算を実行している。その結果を, システム図とともに図 2-22 に示しておく。<sup>35)</sup>

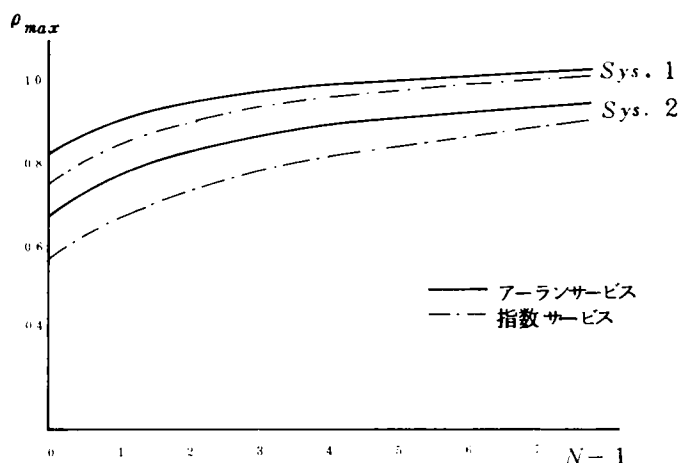
この情報は、輸送システムが、どの程度の入力まで適応してゆけるかという記述的分析にとっては重要なものとなる。直列形システム一般に対する  $N$  の影響の直接的解析は、理論モデルでは困難である。シミュレーションモデルは、有限しか取扱えないという制約があるが、このブロッキングの問題は、シミュレーションモデルでは必然的なものであって、ある意味では扱い易い。そこで、2段有限待ち行列系のシミュレーションモデルを作成し、 $N$  の影響についての若干の検討を試みる。

まず、サービス分布として、2段とも同じ平均値の指数分布をも

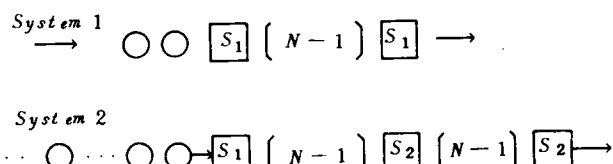
つシステムを取りあげる。そして利用率を  $\rho = 0.6$  とし、 $N = 1 \sim 20$  についてそれぞれ乱数初期値を3回変えてシミュレーションを実施し、第1段目、第2段目における平均滞留時間  $\hat{W}(1)$ 、 $\hat{W}(2)$ 、および全滞留時間  $\hat{W}$  を求めた。その結果を図2-23に示す。各段が独立であれば、 $\hat{W}(1)$ 、 $\hat{W}(2)$  は  $M/M/1$  の理論解に近づく。図2-23では、 $N \geq 6$  でほぼ  $\rho = 0.6$  の理論解  $W(1) = 3$  に近くなっている。アーランサービスの場合にも、図2-24によって同様のことが確認できる。

また、図2-25(1)は、シミュレーションによる2段直列形システムにおける全滞留時間の分布図である。図2-25(2)は、ブロッキング回数のグラフである。前節で  $M/M/S$  と  $M/E_k/S$  という2つの並列形システムについて、後者のサービス時間の分散が、前者の  $1/k$  となるため、平均待ち時間も小さくなるということを述べたが、図2-25の(1)、(2)より、直列形システムについても同様の議論が成立すると推測されることを指摘しておく。

以上のように、待ち情報システムは、いろいろな機能をもつ。今後、このような観点より待ち情報システムを利用する研究が幅広くなされ、整備計画にその結果が反映されることが望ましいと思う。



(2)  $\rho_{max}-(N-1)$  曲線



(1) システム図

図2-22 2段直列形システムの  $\rho_{max}$

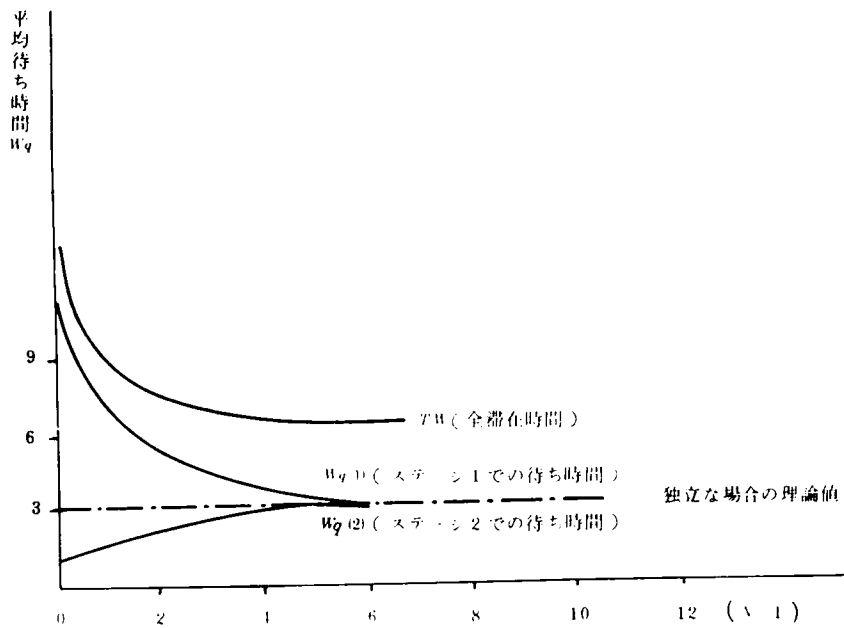


図 2-23 2 段直列形，指数サービスシステム ( $\rho=0.6$   $\lambda=0.5$ )

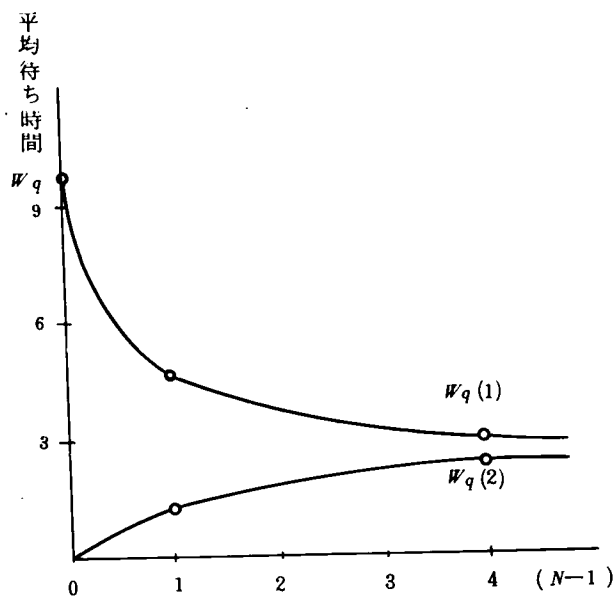
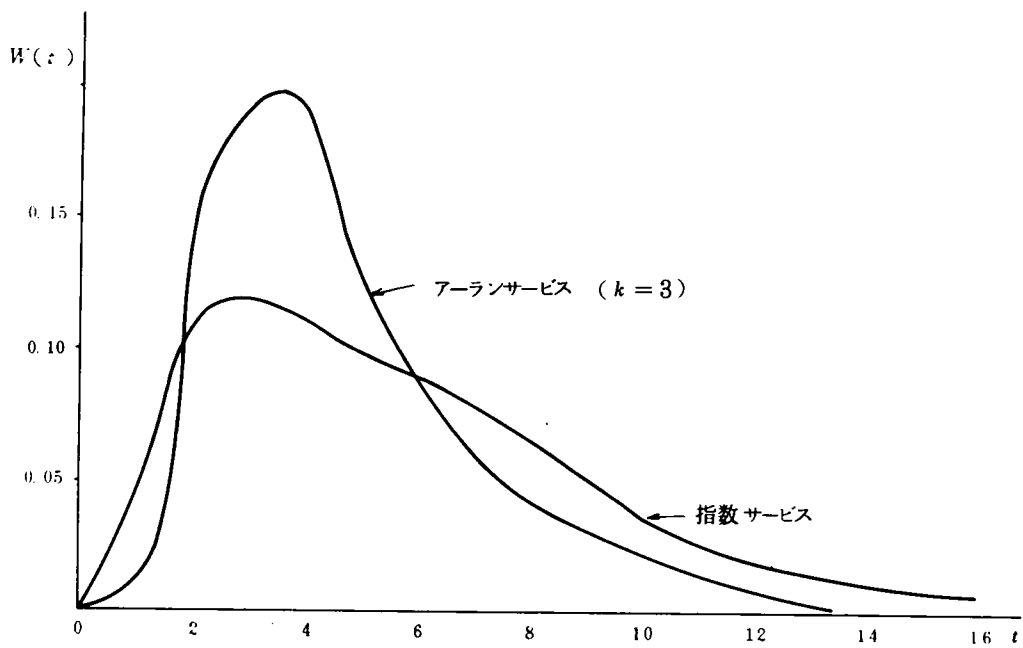
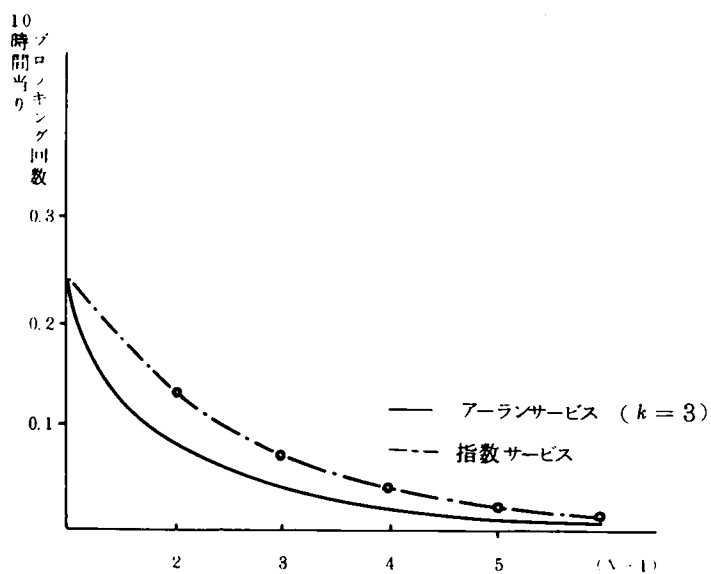


図 2-24 2 段直列形アーランサービスシステム ( $k=3$  ( $\rho=0.6$   $\lambda=0.5$ ))



(1) 全滞在時間の分布の比較

( $\sigma = 0.5$   $\rho = 0.833$ )



(2) ブロッキング回数の比較

図 2-25 2 段直列形システムの比較

## 第6節 結 言

本章においては、第1章の考え方に従って、計画の合理化、科学化の第1歩である認知情報システムの合理化、科学化について論じた。

輸送システム整備計画の直接的動機をなすものは、その顕在的機能に関する計画主体の価値認識である。この価値は、輸送手段の待ち、遅延に関する情報を媒介として評価される。本章では、この情報を生成するシステム、すなわち待ち情報システムについて、その合理化、科学化に関する若干の検討を試みた。

待ち情報システムの科学化は、輸送システムの待ち構造を明らかにし、それを論理モデル化することによって達成される。しかし、合理化については、第1章で述べたように、計画階層レベルとの対応関係を除外しては論じられない。例えば、計画階層レベルが上れば上るほど、より本質的な理解力が、従って、ストラータの高い情報が、要請されてくるからである。

著者は、このような問題を論じるため、まず、第2節において、輸送システムの基本的待ち構造について論じ、それが  $M/G/S(N)$  を基本とするネットワークキュー構造として把握されることを述べた。そして、第3節において、その論理モデルの種類と特性について論じた。論理モデルの諸特性、例えば、記述可能領域、ストラータ、操作性、創造性等は、その論理構造と密接な関係にある。そこで、著者は、(i) 確率事象の記述方式、(ii) 時間の進行方式という確率過程における2大基本構造より、待ち情報システムを4つのカテゴリーに分類する方法を提案した。

従来の研究においては、待ち行列理論モデル、シミュレーションモデルという区別がなされていただけであるが、これは、著者の分類法でいえば、(i) の構造に関する区別であることを示すとともに、待ち行列理論モデルと呼ばれるものにも、(ii) の構造化に2種類あり、両者においては、情報の欠落、ストラータ等に大きな差が存在することを明らかにした。

また、従来の研究では、シミュレーションモデルの方が、待ち行列理論モデルより進んだ形態とされてきたきらいがあるが、それは、認知情報システムとしての1つの特性である記述可能領域の広狭という意味でのみ正当であって、他の特性とを合せれば、そのような考え方は成立しない。むしろ、それが使用される計画階層レベルとの対応関係を除外して、そのような議論をすること自体が、合理的、科学的でないことを明らかにした。第4節では、操作性という特性を特に取りあげ、シミュレーションモデルと待ち行列理論モデルとの比較を数値的に試みた。そして、シミュレーションモデルの使用には、実験計画法等の情報処理効率の高いシステムを併用する必要があることを指摘した。

最後に、第5節においては、待ち情報システムの輸送システム整備計画における情報機能について論じた。従来の研究においては、待ち情報システムは、輸送システムの顕在的機能を評価するための情報

を生成するシステムとしてのみ利用されてきた。これも非常に重要な機能であるが、他にもいろいろな機能をもっとし、3つの基本的問題を取りあげ、待ち情報システムによる検討を行ない、次のような有用な情報を得た。

- (1) システムの運用時間が、平均サービス時間の20倍以上になれば、あるレベル以上の計画では、平衡状態と同形とみなして処理してもさしつかえない。
- (2) 輸送手段の運動特性上許容される範囲での施設の一体的使用、サービスの専門化、単純作業への分割は、輸送システム整備計画のソフトで、実効的な計画手段として、今後の主要な戦略とすべきである。
- (3) サブシステムのサイズが、7以上あれば、あるレベル以上の計画では、独立なシステムとして処理してもさしつかえない。

## 第 2 章 参 考 文 献

- 1) 京都大学土木計画学研究室 「ふ頭標準能力調査報告書」 (1966)
- 2) 長 尾 義 三 “外資定期船雑貨ふ頭能力評価について” 経営科学 10. 4 (1967)  
PP. 215 ~ 233.
- 3) A.V. Gafarian and C.J. Ancker, Jr. “Mean Value Estimation from Digital Computer Simulation” M.S., 11 (1965).
- 4) 前 掲 3)
- 5) Maurice W. Sasieni “Double Queues and Impatient Customers with an Application to Inventory Theory” JORSA, 11 (1963), pp. 771 - 781.
- 6) 原 潔 “船舶交通の統計的特性-1” 日本航海学会誌 35 (1966) PP. 77 - 83.
- 7) 国沢, 本間監修 「応用待ち行列事典」 広川書店 (1971) P. 40.
- 8) 前 掲 7) P. 42.
- 9) 前 掲 7) P. 34.
- 10) 前 掲 1), 2) .
- 11) 前 掲 7) P. 51.
- 12) Tomas, L. Saaty “Resumé of Useful Formulas in Queuing Theory” JORSA, 5 (1957).  
PP. 161 - 200.
- 13) (1) 森 村 英 典 “待ち行列について” 経営科学 5 (1962) PP. 91 - 103  
(2) “ ” “待ち行列の実用性を高めるために” 経営科学 7 (1964)



- 14) U. Narayan Bhat "Sixty Years of Queueing Theory" M.S., 15 (1969), PP.280 - 294.
- 15) 前 掲 7)
- 16) 前 掲 3)
- 17) G.F.Newell 「Applications of Queueing Theory」 Chapman and Hall, (1971).
- 18) Mihajlo D.Mesarovic "Multilevel Systems and Concepts in Process Control" Proceedings of the IEEE, January (1970), PP.111 - 125.
- 19) 北 川 一 "乱数発生のためのサブルーチン KUNIRN について"  
京都大学大型計算機センター広報 13.1 (1970)
- 20) Philip M.Morse "Stochastic Properties of Waiting Lines" JORSA, 3 (1955),  
PP.255 - 261.
- 21) Richard F.Gebhard "A Limiting Distribution of an Estimate of Mean Queue Length" JORSA, 11 (1963), PP.1000 - 1003.
- 22) D. J. Daley "The Serial Correlation Coefficients of Waiting Times in a Stationary Single Server Queue" J. Australian Math. Soc., 8 (1968), PP.683 - 699.
- 23) N. Blomgrist "The Covariance Function of the M/G/1 Queueing System" Skand Aktuar Tidskr., (1967) PP.157 - 174.
- 24) 前 掲 3)
- 25) G. Fishman and P.J.Kiviat "The Analysis of Simulation - Generated Time Series" M.S., 13 (1967), PP.525 - 557.
- 26) 前 掲 3)
- 27) 前 掲 1)
- 28) Erik Maaløe "Approximation Formulae for Estimation of Waiting-time in Multiple-channel Queueing System" M.S., 19 (1963), PP.703 - 710.
- 29) 前 掲 17)
- 30) 前 掲 7)
- 31) Yu .K.Belyaev "Limit Theorems for Dissipative Flows" Theory Prob.Applications, 8 (1963), PP.165 - 173.
- 32) Ross T.Nelson "Waiting Time Distribution for Application to a Series of Service Centers" JORSA, 6 (1958), PP.856 - 862.
- 33) Gordon C.Hunt "Sequential Arrays of Waiting Line" JORSA, 4 (1956),  
PP.674 - 704.

34) 牧 野 都 治 “タンデム型待ち行列についての 2, 3 の問題”

経営科学 6 (1963) pp.246 - 257

35) *F.S. Hillier and R.W. Boling* “*Finite Queues in Series with Exponential or Erlang Service Time - a Numerical Approach*” *JORSA*, 14 (1966), pp.286 - 303.

### 第3章 輸送システム整備計画における要件 充足性最大化システムに関する研究<sup>1)</sup>

#### 第1節 緒 言

輸送システム整備計画は、第1章で論じたように、現代社会の構造的要因を背景とし、基幹的計画の1つとして拡大の一途をたどってきているが、その大規模性、ハード性ゆえに、現時点では、巨大で、非可逆的な逆機能の顕在化が大きな社会的問題となってきた。しかし、高度にシステム化された現代社会の構造的要因を背景とする強い力が作用し、その整備計画において機能的側面の大きさが強調される傾向がみられる。この傾向は、輸送システム整備計画に関する研究分野にも反映され、整備計画の顕在的機能に関する研究は、重要課題の1つとして数多く研究されている。第2章で述べたように、長尾、吉川は、輸送システムの顕在的機能を待ち情報システムによって把握し、その社会的要件充足性に関する評価の合理化、科学化の研究を行っており、<sup>2)</sup> その方法は、この分野の1つのパラダイムとして、数多くの同形の研究を生でいる。

これらのことは、計画というものが物理的現象とは異なり、可能態であっても現実態となるとは限らず、現実態になるには「意思」という要因が必要となり、この「意思」が計画のもつ顕在的機能によって、駆動させられるものであることにも関係している。すなわち、顕在的機能の評価の問題は、その計画がもつ社会的特性からだけくるものではなく、計画一般に共通する本来的なものといえる。社会的特性は、この評価にある種のバイアスをかけると考えるべきであろう。

さて、前述したように、輸送システム整備計画は現代社会の構造的要請を背景とするものであり、大きなバイアスが評価にかかりやすいものであるといえよう。しかも、それが、巨大で、非可逆的な逆機能をともなうものであることを考え合せば、このバイアスの解明は、評価の合理化、科学化という意味だけでなく、現実的にも重大な意義をもつものであるといえる。

著者は、本章において、港口に閘門を建設するという海上輸送システムのターミナル整備計画を具体的対象として、上述の要件充足性に関する評価の問題について論じることにする。

まず、第2節においては、本計画の機能、逆機能を概観するとともに、第2章第5節の結果を利用し、1つの許容される基本閘門計画案の作成を試みる。第3節においては、前述のパラダイムに従って、経済的要件充足性に関する評価関数の設定を行なう。そして、第4節においては、評価関数に含まれる船舶の閘門における平均待ち時間に関する情報システムの開発を行なう。

第5節においては、数値を用いて、上述のシステムに従って、要件充足性最大の計画閘門規模の決定を行なうとともに、この評価の過程をシステム化し、対象化することによって、この方法のもつ合理性、科学性について考察することにする。

## 第2節 閘門設置計画の概要

港口に閘門を設置しようという計画構想は、潮流、潮位差の大きな地域の港湾機能の確保、あるいは、地盤沈下にもともなって劣悪化した臨海工業地域の立地条件の回復、高潮からの工業地帯、および港湾の防御等を目的として提出されたものである。

第1章で述べたように、計画には、顕在的機能、潜在的機能 および潜在的逆機能がともなう。閘門設置計画にともなう諸機能としては、

### (1) 顕在的機能

- (i) 潮待ちが大幅に減少し、輸送時間を節約することができる。
- (ii) 潮位差が減少し、干潮時においても基準水面を保持できる。
- (iii) 高潮による災害より、港湾の背後地を防護する。

### (2) 潜在的機能

- (iv) (i) の結果、入港船舶の入港可能時間帯が増大し、入港船の集中が少なくなり、港内の船舶航行の安全性が高まる。
- (v) (ii) の結果、港内の不規則流が減少し、泊地面積の増大、碇泊船舶の安全性、および荷役能力の向上が期待される。また、航路の増深、拡幅が容易となり、港湾の管理・運営費用が減少する。
- (vi) 埋立造成が容易となり、再開発に有効面積を提供する。
- (vii) (iii) の結果、背後地の工業立地条件が向上し、産業、経済に寄与する。

### (3) 逆機能

- (viii) 閘門を利用するため待ち現象が生じ、船舶の待ち損失が生じる。
- (ix) 閉口港にすることにより港内の海水の流れが阻害されることにともなう港内の汚染等の公害が生じる。

などが考えられるであろう。上述のような、閘門設置計画のもつ顕在的、潜在的機能のみを考えても、この計画構想は検討するに値するものであるといえる。

さらに、第1章で述べたように、輸送システム、特に海上輸送システムは、現代社会のシステム性、わが国の立地条件を考えるならば、必要不可欠なものである。しかも、現時点においては、大規模な港湾の開発は、その逆機能の巨大性ゆえに困難となってきたため、海上輸送力の増強は、現有施設の改良、整備にたよらざるをえない状況にある。このような状況の下で、閘門設置計画は、既存の港湾の輸送機能の向上手段として、現代社会における重要な計画構想の1つとなる。

さて、港口に閘門を設置するということは、図3-1に示すように、多段直列形のシステムにもう1段サブシステムを入れることを意味する。前述したように、閘門設置によって、船舶交通の定常化、荷役機能施設の能力の発揮等が期待されるが、その規模によっては、海上輸送のあり路となる。そこで、

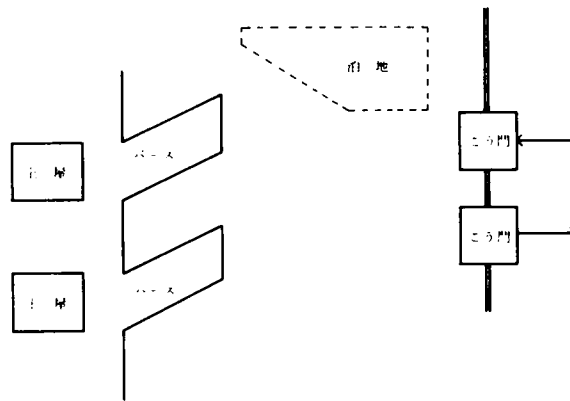


図 3-1 港湾システムの直列形構造

開門設置の適正な規模の決定が重要となる。

前述したように、開門部は、多段直列形システム構造をもつ港湾の1つのサブシステムであり、他の部分と独立にその規模を論じることは、原則的には不合理である。しかし、本計画の目的が、既存港湾の機能の向上にあることを考えれば、開門部があり路となるような計画案は、最初より除外すべきであって、著者は、このような考え方に従って、港湾の他の施設の能力、利用船舶の船種・船型構成、利用率等に関する情報を既知として、基本開門設置計画案を次のようにして作成した。

- (1) 船舶の低速時の運動特性を考慮し、船舶交通の安全性というシステム自体の要件より、入港船舶用と出港船舶用に分けて、開門を設置する。
- (2) 同様の理由と、後で述べる開門建設費との関係で、大型船舶用と小型船舶用に分ける。
- (3) 船種・船型構成よりみて、到着隻数の多い小型船舶用に複数基（実際には、第2章第5節で述べた理由と物理的スペースとの関係で最大2基）、大型船舶用に1基、それぞれ最大収容隻数  $S_1$ 、 $S_2$  の開門を設ける。

すなわち、図3-2のようなシステムを基本計画案とした。

また、

- (i) パースでのサービス時間（荷役時間）は、開門のそれよりかなり長い。
- (ii) 一般港湾の泊地スペースは、6隻以上あるとすることができる。

ということより、第2章第5節の結果を用いれば、図3-2の  $S_1$ 、 $S_2$  がある程度以上大きければ、開門部を独立として解析しても、あまり問題とならないであろう。しかも、システムモデルを用いることによって、この仮説は事後的に検討が可能なものとなる。

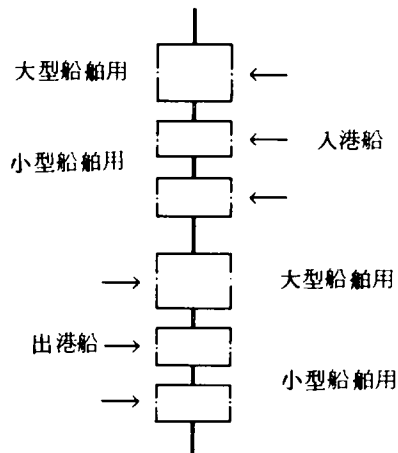


図 3-2 許容こう門システムの基本形

### 第3節 適正閘門規模の評価関数

#### 1. 評価関数の設定

著者は、前節において閘門設置の基本計画案を作成した。残された問題は、小型船舶用閘門、大型船舶用閘門の最大収容隻数  $S_1$ 、 $S_2$  の決定である。

前述したように、港口に図3-2のような閘門を設置すれば、そこで船舶の待ちが生じる。今、閘門部でのサービス時間が、最大収容隻数を変化させてもあまり変らなるとすれば、 $S_1$ 、 $S_2$  の増大は、船舶の待ち時間を減少させる。しかし、 $S_1$ 、 $S_2$  の増大は、閘門建設費用の増大をもたらす。これらは、海上輸送の経済性に影響を与える。そこで、港湾計画の分野においては、輸送経済性が評価すべき要件の1つとされている。<sup>3)</sup>

さて、第1章で述べたように輸送システムの顕在的機能は、 $OD$  間の人、物の移動にある。従って、輸送経済性は、 $OD$  間の全輸送過程との関連性で論じられねばならない。閘門部では、経済的であっても、バースに遊休が生ずれば、全体として経済的かどうかは不明である。しかし、本計画においては、第2節で述べたように、閘門部での待ち現象は、他の部分に影響しないと仮定しうるし、この仮定自体事後的に検討しうるため、部分的評価が可能となる。

閘門の最大収容隻数  $S$  の最適性を評価する関数は、次のような費用関数として定式化される。すなわち、

$C_A(S)$ ： 船舶関係の単位時間当りの待ち費用（円／日・隻）

$C_B(S)$ ： 閘門の最大収容隻数を  $S$  隻とした場合の施設関係の単位時間当りの費用（円／日・

隻)

とすれば、費用関数  $C(S)$  は、

$$C(S) = C_A(S) + C_B(S) \quad (3-1)$$

となる。 $C_A(S)$  は、さらに、開門部での船舶の待ち時間の関数として表わされ、結局、

$$C(S) = B\lambda \left\{ (W_q(S) + \frac{1}{\mu}) T + (W'_q(S) + \frac{1}{\mu'}) (1-T) \right\} + C_B(S) \quad (3-2)$$

となる。ただし、

$B$  : 1 船の単位時間当りの船舶関係の費用 (円/日・隻)

$\lambda$  : 単位時間当りの平均到着隻数 (隻/日)

$W_q(S)$  : 最大収容隻数を  $S$  としたときの開門操作時の船舶の平均待ち時間 (日/隻)

$\frac{1}{\mu}(S)$  : 開門の平均サービス時間 (日/隻)

$W'_q(S)$  : 開門開放時の船舶の平均待ち時間 (日/隻)

$\frac{1}{\mu'}(S)$  : 開門開放時の開門のサービス時間 (日/隻)

$T$  : 1 日の平均開門操作時間割合

である。

輸送経済性という社会的要件を選択した場合の最大適化計画案の選択モデルは、

$$S^* = \min_S \{ C(S) \} \quad (3-3)$$

となる。

## 2. 評価関数の係数の算定法

評価関数は、式 (3-2) という費用関数によって表現された。 $W_q(S)$ 、 $W'_q(S)$ 、 $\frac{1}{\mu}(S)$ 、 $\frac{1}{\mu'}(S)$  については、次節で詳述するとし、ここでは、残りの  $B$ 、 $C_B(S)$  について若干の説明を行なっておくことにする。なお、 $\lambda$  は計画パラメータであって、当該港湾の特性、計画目標時点より設定されるものである。

### (1) $B$ の算出法

船舶関係の費用は、船舶の費用と積載貨物の金利で構成されている。船舶の費用は、船費、運航直接経費および港湾費用に分けられる。船費は、償却費、保険料および船舶税等の間接船費と、船員給料、修繕費および船舶用品等の直接船費に分けられる。港湾費用は、開門使用料が考えられるが、本研究では考慮しない。一方積載貨物の金利は、一船あたりの平均積載貨物量とその単価を用いて求める。

(2)  $C_B(S)$  の算定法

$C_B(S)$  は、 閘門建設費の償却費と閘門の修理・運転費等の管理・運営費に分けられる。閘門建設費の償却費  $C_1(S)$  は、 図 3-3, 図 3-4 のような構造物に対して、 最大収容隻数  $S$  を図 3-5 のように配列した場合について概算した建設費  $C'_1(S)$  を用いて算出する。一方、 管理・運営費  $C_2(S)$  は、 一般に建設費の償却に対する比率  $\eta$  で示される。  
 $C_B(S)$  は、 次式のようになる。

$$C_B(S) = C_1(S) + C_2(S) = (1 + \eta) C_1(S) \quad (3-4)$$

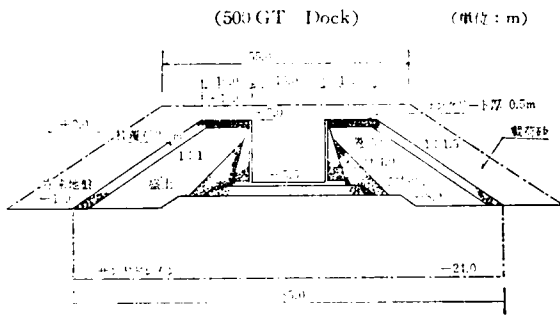


図 3-3 閘門側面図

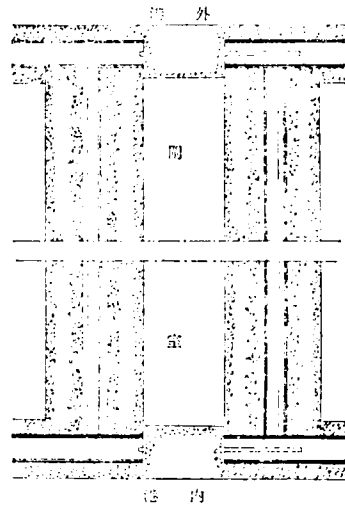


図 3-4 閘門平面図

$$L = 185 \text{ m} \times S$$

$$W_1 = 36 \text{ m} + 2 \times 2 = 40 \text{ m} \quad \text{1 隻の場合}$$

$$W_2 = 36 \text{ m} \times 2 + 2 \times 2 = 78 \text{ m}$$

$$\text{ゲート幅} = 36 \text{ m} + 2 \times 2 = 40 \text{ m}$$

$$\text{ゲート長さ} = 20 \text{ m}$$

$$\text{水深} = 13.0 \text{ m}$$

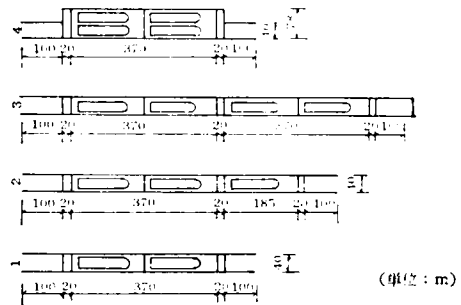


図 3-5 閘門の形状



## 第4節 閘門における船舶の平均待ち時間に関する情報システム

著者は、第2節で許容される閘門システムの基本的形態を明らかにし、第3節では閘門の最大収容隻数  $S$  の決定に関する情報処理を、費用関数を導入することによって定式化した。本節では、式(3-2)を構成する重要情報である、閘門での船舶の平均待ち時間  $Wq(S)$  に関する認知情報システムについて研究する。

### 1. 閘門操作の概要

船舶は、閘門設置によって生じた港湾内外の水位差のために、入出港に際して、閘門において水位調節を受けねばならない。

船舶の閘門部でのこのサービスは、図3-6のようにモデル化できる。すなわち、

- (i) 入閘扉前に到着した船舶は、入閘扉が閉鎖されているときには、入閘扉前で待つ。
- (ii) 入閘扉が開放されると、待ち行列の先頭より最大収容隻数 ( $S$ 隻)、あるいは待ち行列が最大収容隻数以下の場合には、全隻一度に入閘する。
- (iii) 入閘が完了すると、入閘扉を閉鎖し、閘門内外の水位差の調節を行なう。
- (iv) 出閘扉を開放し、入閘船舶が出閘する。
- (v) 出閘扉を閉鎖し、入閘扉を開放する。

以上の操作がくり返えされる。

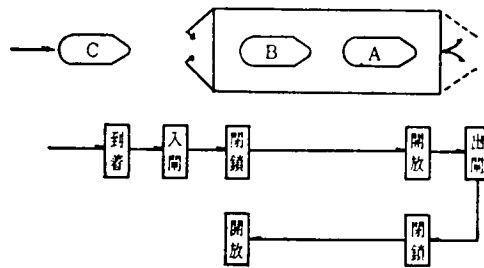


図 3-6 閘門開閉操作図

一方、内・外潮位差、流速が小さい場合は、閘門の入出閘扉はともに開放されていて、入出港船舶は閘室内を通過するだけである。

### 2. 入出港船舶の到着分布

第2章第2節で述べたように、一般に港湾への船舶の到着は、ポアソン分布にしたがうといわれている。尼崎閘門での調査結果でも、入出港別船舶の到着分布は図3-7となり、ポアソン分布を仮

定してもさしつかえがないことが判明した。

### 3. 閘門のサービス時間

#### a) サービス時間の定義

本研究においては、閘門は一方通行とし、流速が3ノット以上に達した場合のみ、閘門操作を行なうとする。閘門での船舶のサービス時間は閘門操作時間である。すなわち、ここでは閘門のサービス時間は、入閘扉閉鎖開始時刻より入閘扉開放完了時刻までであると定義する。

一方、このように定義された閘門のサービス時間  $\frac{1}{\mu}(S)$  は、閘門操作モデル図より明らかなように、

$$\frac{1}{\mu}(S) = \{ a + b - 2c + 2(d + e) + f \} / \{ 1 - 2\lambda c \} \quad (3-5)$$

となる。

ここに、

- $\lambda$  : 単位時間当りの平均到着隻数 (隻/日)
- $a$  : 入閘より停止までの時間 (日/集団)
- $b$  : 始動より出閘までの時間 (日/集団)
- $c$  : 船舶安全間隔時間 (日/隻)
- $d$  : 入閘扉開閉時間 (日/集団)
- $e$  : 出閘扉開閉時間 (日/集団)
- $f$  : 水位調節時間 (日/集団)

である。

一方、閘門開放時におけるサービス時間  $\frac{1}{\mu'}(S)$  は、閘門通過時間、または船舶航行安全間隔時間である。

#### b) サービス時間分布

わが国には閘門を有する閉口港の例は少なく、尼崎港、三池港等2, 3の港湾にみられる程

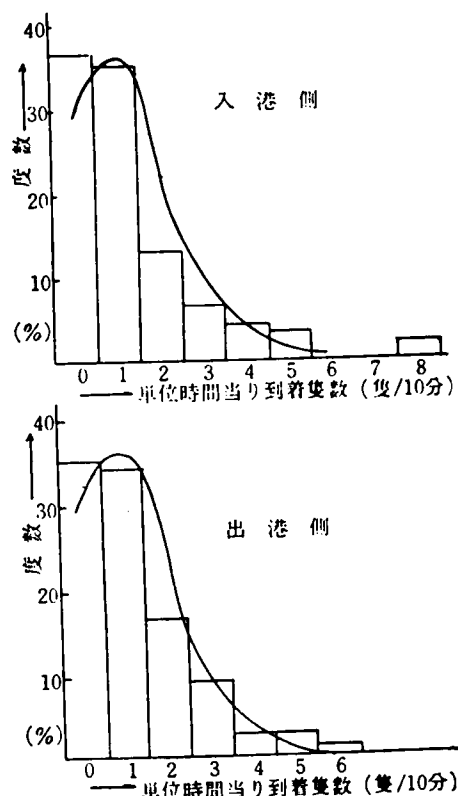


図 3-7 尼崎港到着分布

度である。昭和 41 年 10 月 24～26 日尼崎開門で、開門のサービス時間に関する種々の調査を行った。

サービス開始時間間隔の分布は、図 3-8 に示すように低次のアーラン分布にしたがっている。

わが国には、大型船舶用の開門が存在しないため、大型開門のサービス時間分布は実測できない。したがって、式(3-5)の各変量を他の資料、たとえば造船所のドックの入・出時間、注・出水時間、またタグボートによる航行速度、船舶安全間隔時間等を用いることにより推定し、式(3-5)にしたがって各変量をコンボリュートすることにより、大型開門のサービス時間分布を算出する必要がある。

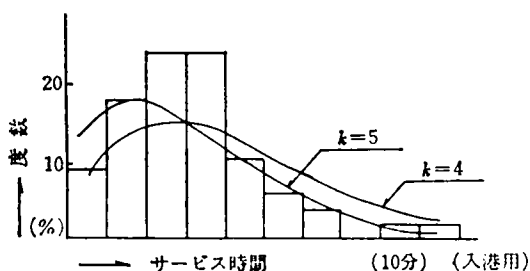


図 3-8 サービス時間分布  
(尼崎港)

#### 4. 船舶の平均待ち時間 $Wq(S)$ に関する情報システム

認知情報システムの機能は、式(3-2)を構成する  $Wq(S)$  に関する情報の提供にある。前節で述べた式(3-2)の係数の算出精度、待ち行列系の基本パラメータ、 $\lambda$ 、 $\mu$ の計画時における予測精度等を考慮して、著者は認知情報システムとして待ち行列理論モデルを採用する。

図 3-2 に示したように、開門は、小型船舶に対して 2 基、大型船舶に対して 1 基設置される。小型船舶と大型船舶とでは、サービス時間分布に差がある。そこで、次のように分けてモデル化する。

##### a) 小型船舶用開門に対するモデル化

小型船舶用開門における待ち現象のモデル化のために、次のような仮定を設ける。

- (i) 小型船舶は、平均  $\lambda$  のポアソン分布で開門へ到着する。
- (ii) 到着した船舶は、先着順に 1 列に行列する。
- (iii) サービス時間は、サービス開始時間間隔であるとし、平均値  $\frac{1}{\mu}$  の指数分布とする。
- (iv) 1 開門操作で最大  $S$  隻一度に先着順にサービスを実施するものとし、サービス開始時に待ち行列が  $S$  以下であれば、全隻一度にサービスするものとする。

(注) (iii) の仮定は、第 2 章で述べたように安全側である。

これらの仮定より、窓口数 2 の集団サービス形の理論モデル<sup>4)</sup>が適用できる。

2 基の開門の最大収容隻数、平均サービス時間を、 $S_1$ 、 $\frac{1}{\mu_1}$ 、 $S_2$ 、 $\frac{1}{\mu_2}$ 、とし、次の

ような確率変数を定義する。

すなわち，

$E(t)$  : 時刻  $t$  で両閘門が空で，待ち船舶がない確率

$Q(t)$  : 時刻  $t$  で第 1 の閘門がサービス中で，第 2 の閘門が空である確率

$R(t)$  : 時刻  $t$  で第 1 の閘門が空で，第 2 の閘門がサービス中である確率

$P_n(t)$  : 時刻  $t$  で両閘門がサービス中で， $n (\geq 0)$  隻の船舶が待っている確率

さらに， $P_n(t)$  の母関数を  $F(x, t)$  と定義する。すなわち，

$$F(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n(t) x^n \quad (3-6)$$

である。システムの状態方程式は，次のような微分差分方程式として記述される。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dE(t)}{dt} &= -\lambda E(t) + \mu_1 Q(t) + \mu_2 R(t) \\ \frac{dQ(t)}{dt} &= -(\lambda + \mu_1) Q(t) + \lambda E(t) + \mu_2 P_0(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} &= -(\lambda + \mu_2) R(t) + \mu_1 P_0(t) \\ \frac{dP_0(t)}{dt} &= -(\lambda + \mu_1 + \mu_2) P_0(t) \\ &\quad + \mu_1 \sum_{m=1}^{S_1} P_m(t) + \mu_2 \sum_{k=1}^{S_2} P_k(t) + \lambda [Q(t) + R(t)] \\ \frac{dP_n(t)}{dt} &= -(\lambda + \mu_1 + \mu_2) P_n(t) + \lambda P_{n-1}(t) \\ &\quad + \mu_1 P_{n+S_1}(t) + \mu_2 P_{n+S_2}(t) \end{aligned} \right\} \quad (3-7)$$

式 (3-7) をラプラス変換すれば，母関数のラプラス変換  $\bar{F}(x, s)$  が求まる。

$\bar{F}(x, s)$  の特性方程式

$$\lambda x^{S_1+1} - (s + \lambda + \mu_1 + \mu_2) x^{S_1} + \mu_2 x^{S_1-S_2} + \mu_1 = 0 \quad (3-8)$$

の単位円外の根を  $x_0(s)$  とすれば， $\bar{F}(x, s)$  は，

$$\bar{F}(x, s) = A(s) / [x_0(s) - x] \quad (3-9)$$

となり，

$$\bar{P}_n(s) = A(s) / x_0^{n+1}(s) \quad (3-10)$$

である。ここに、

$$\begin{aligned} A(s) = & [\lambda^2 x_0 (x_0 - 1) (s + \lambda + \mu_2)] / \{ s x_0 (s + \lambda + \mu_2) \\ & \times [(s + x) (s + \lambda + \mu_1) - \lambda \mu_1] - (x_0 - 1) \} \lambda (s + \lambda) \\ & \times [\mu_1 (s + \lambda + \mu_1) + \mu_2 (s + \lambda + \mu_2)] - \lambda^2 \mu (\mu_1 - \mu_2) \\ & - (\mu_1 + \mu_2) (s + \lambda + \mu_2) [(s + x) (s + \lambda + \mu_1) \\ & - \lambda \mu_1] \} \} \end{aligned} \quad (3-11)$$

である。

とくに、

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \mu_2 = \mu \\ S_1 &= S_2 = S \end{aligned}$$

とすれば、平均待ち行列  $Lq$  は、

$$\begin{aligned} Lq = & \sum_{n=1}^{\infty} n \{ s \bar{P}_n(s) \}_{s=0} = 2 \rho^2 y_0 / (y_0 - 1) \\ & \times [ 2 \rho^2 y_0 + (1 + 2 \rho) (y_0 - 1) ] \end{aligned} \quad (3-12)$$

ただし、

$$\begin{aligned} y_0 &= x_0(s) |_{s=0} \\ \rho &= \lambda / 2 \mu \end{aligned}$$

従って、平均待ち時間  $Wq(S)$  は、リトルの公式より、

$$Wq(S) = Lq(S) / \lambda \quad (3-13)$$

と求まる。

b) 大型船舶用開門に対するモデル化

(i) サービス時間は、平均値  $1/\mu$  の  $k$  次のアーラン分布とする。

(ii) 他は、a) の仮定と同様とする。

という仮定を設ける。これは、窓口数 1 の  $X^2$ -集団サービス形の理論モデル ( $X^2$  - Bulk Service Queue Model)<sup>5)</sup> によって記述される。

次のような確率変数を定義する。

$C_r$  :  $r$  番目の位相より、サービスが開始される確率

$P_{n,r}$  : 待ち行列が  $n$  隻で、サービスが  $r$  番目の位相内にある確率

$P_0$  : 閘門が空である確率

このシステムの定常状態での状態方程式は、

$$\left. \begin{aligned}
 &-(\lambda + k\mu) P_{n,r} + \lambda P_{n-1,r} + k\mu P_{n,r+1} \\
 &\quad + k\mu C_r P_{n+s,1} = 0 \quad (n > 0, 1 \leq r < j) \\
 &-(\lambda + k\mu) P_{n,j} + \lambda P_{n-1,j} + k\mu C_j P_{n+s,1} = 0 \\
 &\quad (n > 0) \\
 &-(\lambda + k\mu) P_{0,r} + k\mu P_{0,r+1} + k\mu C_r \sum_{m=1}^S P_{m,1} \\
 &\quad + \lambda C_j P_0 = 0 \\
 &\quad (1 \leq r < j) \\
 &-(\lambda + k\mu) P_{0,j} + k\mu C_j \sum_{m=1}^S P_{m,1} + \lambda C_j P_0 = 0 \\
 &-\lambda P_0 + k\mu P_{0,1}
 \end{aligned} \right\} \quad (3-14)$$

となる。

つぎに三つの母関数を定義する。

$$\left. \begin{aligned}
 Q_n(x, y, z) &= \sum_{r=1}^j x^r P_{n,r} \\
 F_p(x, y) &= \sum_{q=0}^{S-1} y^q Q_{ps+q}(x) \\
 H(x, y, z) &= \sum_{p=0}^{\infty} Z^p F_p(x, y)
 \end{aligned} \right\} \quad (3-15)$$

式(3-15)の母関数を用いて式(3-14)を変形し、サービス時間分布のラプラス変換

$$\beta(s) = \sum_{r=1}^{\infty} C_r \left( 1 + \frac{s}{\mu} \right)^{-r}$$

を用いれば、

$$G(y) \equiv \sum_{n=0}^{\infty} y^n P_{n,1}$$

$$= \sum_{q=0}^{S-1} P_{q,1} (y^S - y^q) / (y^S / k(y) - 1) \quad (3-16)$$

なる関係式が成立する。ここに

$$k(y) = \beta [\lambda(1-y)] = \sum_{r=1}^j C_r [\mu / (\mu + \lambda - \lambda y)]^r \quad (3-17)$$

サービス時間分布は、平均値  $1/\mu$  の  $k$  次のアーラン分布であるから、 $C_k = 1$  となり、式 (3-17) は、

$$k(y) = [\mu / (\mu + \lambda - \lambda y)]^k$$

となり、 $G(y)$  の特性方程式は、

$$g \equiv y^S / [\mu / (\mu + \lambda - \lambda y)]^k - 1 \equiv 0 \quad (3-18)$$

となる。

式 (3-18) の単位円外の根を  $y_i$  とすれば、

$$Lq = \sum_{i=S}^{S+k-1} (y_i - 1)^{-1} \quad (3-19)$$

と求まる。平均待ち時間は、

$$Wq(S) = Lq - (k-1)/2\mu \quad (3-20)$$

となる。

### c) 閘門開放時のモデル化

(i) 船舶は、平均値  $\lambda$  のポアソン分布にしたがって到着すると仮定する。

(ii) サービス時間は、平均値  $1/\mu$  の指数分布にしたがう。

(iii) 到着船舶は、1隻ずつ先着順に閘門を通過する。ここでは、構造的規模の異なる閘門に到着する船舶の母集団は、それぞれ互いに異なる独立な母集団である。

と仮定すれば、閘門の基数を  $C$  と記せば、これは、 $M/M/C$  の理論モデルによって記述される。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} P_n &= \frac{\alpha^n}{n!} P_0 & (n < C) \\ &= \frac{C^c}{C!} \rho^n P_0 & (n \geq C) \end{aligned} \right\} \quad (3-21)$$

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^c}{C!(1-\rho)} \right\}^{-1}$$

と求まる。

$$\text{ただし, } \rho = \frac{\lambda}{C\mu'}, \quad a = \frac{\lambda}{\mu'} \quad (3-22)$$

平均待ち時間  $W'_q(S)$  は,

$$W'_q(S) = \frac{\rho^c}{C \cdot C! \mu' (1-\rho^2)} P_0 \quad (3-23)$$

と求まる。

以上の諸モデルは、いずれも  $QM(1, 1)$  に分類されるものであることを付記しておく。

## 第5節 最大適合化計画案の選定とその処理過程の分析

本節においては、まず、具体的数値を用いて上述の方式に従って最適閘門規模の決定を試みる。そして、この決定過程に関連する諸仮設をシステム化し、本情報処理の合理性、科学性の意味についての考察を行なう。

### 1. 評価関数の係数の推定

#### a) 係数 $B$ の算定

第3節で述べたように、これは、船舶関係の費用と積載貨物の金利とで構成されている。まず船費は、船種、船型で異なるが、小型、大型船舶の標準船型を、 $500(G/T)$ 、 $10000(G/T)$  とすれば、清水港での調査結果より、 $7(\text{万円/日})$ 、 $80(\text{万円/日})$  とすることができる。

貨物の金利は、

$$C_3 = \frac{r}{365} \times \xi k$$

で求められる。

ここに、 $r$  は年利率、 $k$  は1トン当り平均原価、 $\xi$  は一船当りの平均積載貨物量である。

本研究では、 $r = 0.1$ 、 $k = 10(\text{万円})$ 、 $\xi = 400(\text{トン})$  (大型船の場合には、 $\xi = 6000(\text{トン})$ ) と仮定する。

#### b) $C_B(S)$ の算定

第3節で述べたように、これは、閘門建設費の償却と管理・運営費によって構成されている。

まず閘門の建設費  $C'_1(S)$  は、図3-3、図3-4のような構造物として、第四港湾建



設局調査設計事務所によって、表 3-1 のように算定されている。<sup>6)</sup> その償却費  $C_1(S)$  は、

$$C_1(S) = \frac{1}{365} \times \frac{i}{1 - \left(\frac{i}{i+1}\right)^n} C'_1(S) \quad (3-25)$$

で求められ、 $C_B(S)$  は、第 3 節の式 (3-4) で求められる。本研究では、 $i = 0.06$ 、 $n = 50$  年、 $\eta = 1.0$  と仮定する。

表 3-1 閘門の建設費

閘門の形式	閘門の形状寸法					建設費 (千円)				
	幅 (m)	長さ (m)	水深 (m)	引揚高 (m)	ゲート数	閘室部	昇降機部	昇降機部	ゲート部	合計
1000GT 級	2	370	-13.5	40	2	2,550,000	701,000	698,000	129,000	3,982,000
	3	575	-	40	3	3,962,000	701,000	698,000	240,000	5,514,000
	4	768	-	40	3	5,237,000	701,000	698,000	240,000	6,739,000
	4	570	-	78	2	3,391,000	11,000	1,028,000	120,000	5,729,000
3000GT 級	2	310	-	23	2	1,491,000	456,000	381,000	44,000	2,372,000
	3	485	-	23	3	2,332,000	456,000	381,000	88,000	3,257,000
	4	640	-	23	3	3,078,000	456,000	381,000	88,000	4,003,000
	4	310	-	44	2	1,783,000	620,000	528,000	44,000	2,983,000
	6	320+310	-	44	23	3,389,000	620,000	531,000	88,000	4,588,000
	6	485	-	44	2	2,739,000	620,000	526,000	44,000	3,989,000
500GT 級	2	140	-5.5	15	2	471,000	174,000	154,000	20,000	822,000
	3	210	-	15	2	712,000	174,000	154,000	20,000	1,060,000
	4	280	-	15	2	949,000	174,000	154,000	20,000	1,297,000
	4	140	-	28	2	529,000	202,000	180,000	20,000	941,000
	6	210	-	28	2	808,000	202,000	180,000	20,000	1,210,000
	6	140+140	-	28	15	1,012,000	202,000	154,000	20,000	1,389,000
	7	140+140	-	28	15	1,251,000	202,000	154,000	20,000	1,627,000
	8	230	-	28	2	1,077,000	202,000	180,000	20,000	1,479,000
	9	210	-	41	2	904,000	220,000	205,000	20,000	1,349,000
	10	350	-	28	2	1,347,000	202,000	180,000	20,000	1,749,000
	11	420	-	28	2	1,616,000	202,000	180,000	20,000	2,018,000
	12	280	-	41	2	1,206,000	220,000	205,000	20,000	1,651,000

## 2 船舶の平均待ち時間の推定

まず、小型船舶用閘門のサービス時間は、尼崎港の調査結果<sup>7)</sup>を用いることにする。大型船舶用閘門は、わが国になく、実測ができないため、第 4 節の式 (3-5) で推定するとともに、パナマ運河のペドロ・ミゲル閘門 (1 段引揚式) の平均サービス時間が 35 分である<sup>8)</sup>ということ を考慮して設定することにする。

一方、閘門開放時のサービス時間は、小型船舶に対しては、尼崎閘門の通開状況より約 1 分程度であると推定した。<sup>9)</sup> さらに大型船舶の航行安全間隔時間は 5～10 分程度であろうと考えた。この場合、式 (3-23) より平均待ち時間を求めると、1 分以下となった。

閘門操作時間の平均待ち時間  $W_q(S)$  は、平均到着隻数  $\lambda$ 、平均サービス時間  $\frac{1}{\mu}$  を表

3-2 のように与えて、式(3-13)、(3-20)を用いて算定した。 $S$ を横軸にとり、開門サービス時間を種々に与えて、平均待ち時間の変化を求め、図3-9、図3-10にその1例を図示した。

表 3-2  $\lambda$ ,  $1/\mu$ ,  $k$  の組合せ。

1) 小型船舶用

$\lambda$ (隻/分)	$1/\mu$ (分/隻)					$k$
3/10	12	15	18	20		1
6/10	12	15	18	20	25	1

2) 中・大型船舶用

$\lambda$ (隻/分)	$1/\mu$ (分/隻)					$k$
2/60	30	35	40	45		3, 4
3/60	30	35	40	45	50	3, 4
4/60	30	35	40	45		3, 4
	50	55				

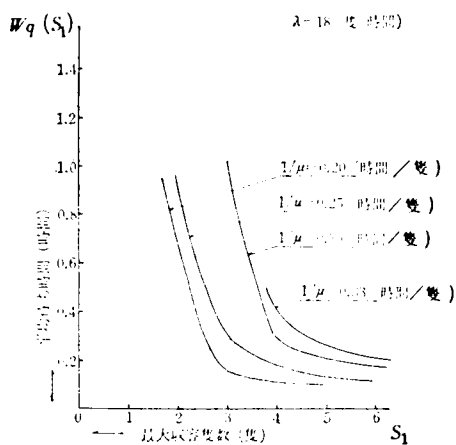


図 3-9 バルク サービス (窓口数2) における平均待ち時間

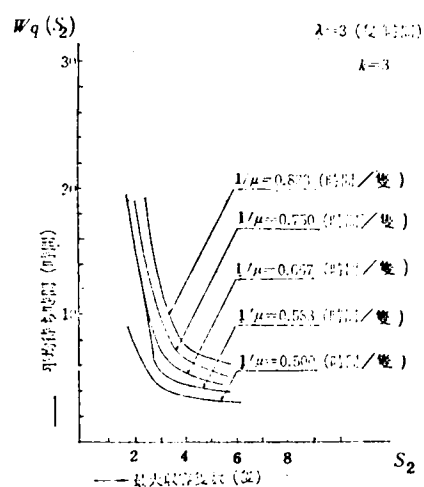


図 3-10  $\lambda^2$ -バルク サービスにおける平均待ち時間

### 3. 評価関数の算出

1, 2 で求められた数値を用いて, 式 (3-2) で定義された費用関数を計算することにより, 単位時間あたりの費用と最大収容隻数との関係を図示することができる。一例として,  $\lambda = 18$  (隻/時) の小型船の場合と,  $\lambda = 2$  (隻/時) の大型船の場合とを, 図 3-11, 図 3-12 に示す。

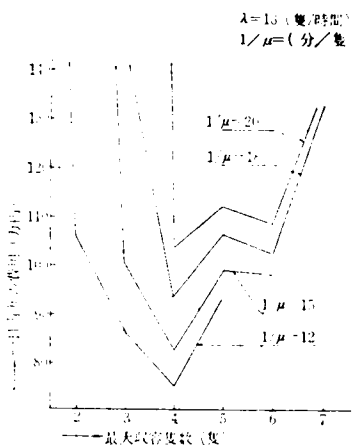


図 3-11 小型船舶の費用関数

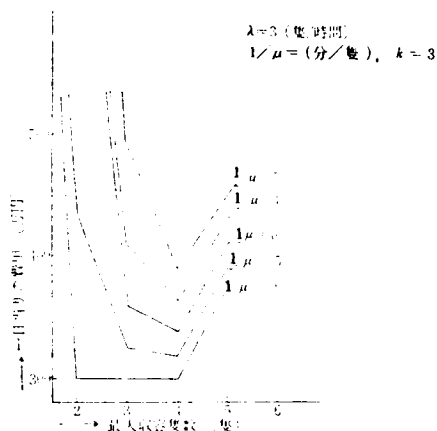


図 3-12 大型船舶の費用関数

最適閘門規模を与える閘室の最大収容隻数は, 図 3-11, 図 3-12 より,  $\lambda, \mu$  の組み合わせのそれぞれに対して, 費用関数  $C(S)$  が最小となる  $S$  を読みとることにより, 決定される。その結果の一例を表示すれば, 最適規模は表 3-3 のように算定された。

表 3-3 最適閘門規模

#### (1) 小型船舶用閘門

$\lambda$ (隻/時)	$1/\mu$ (時)	$S$ (隻)
18	0.200	4
	0.250	4
	0.300	4
	0.333	6
36	0.200	6
	0.250	6
	0.300	9
	0.333	9
	0.417	12

#### (2) 大型船舶用閘門

$\lambda$ (隻/時)	$\lambda/\mu$ (時/隻)	$k=3$	$k=4$
		$S$ (隻)	$S$ (隻)
2	0.500	2	2
	0.583	2	2
	0.667	2	2
	0.750	2	2
	0.500	2	4
3	0.583	4	4
	0.667	4	4
	0.750	4	4
	0.833	4	4
	0.500	4	4
4	0.583	4	4
	0.667	4	4
	0.750	4	4
	0.833	6	4
	0.917	6	4

#### 4. 情報処理過程のシステム化と若干の考察

以上において、著者は、費用関数による輸送経済性最大化の閘門規模の決定を試みた。明らかに、この決定は、いろいろな条件付きでの最適解である。<sup>10)</sup> システム論的信息処理の合理性、科学性は、この条件を対象化しうるところにあると考えるべきである。

さて、本情報処理における諸付帯条件をまず整理しておこう。

まず第1に、第2節で述べたように、閘門設置計画が、現代社会の基幹的計画の1つとして重要なものであるとする認識が、ある種の作用をしていると考えられる。第2は、本計画は既存港湾のレベルアップを目的とするものであり、ターミナルのサブシステム間の能力のバランスが保持されておらなければならないと考えられている。基本計画案は、この条件と船舶交通の安全性とを条件にして策定されたものである。そこでは、船舶の低速での運動特性がよくないという一般条件のみが考慮されており、実行可能性、事実対応性に関する立入った議論はなされていない。

第3に、これらの諸条件の下で、輸送経済性という社会的要件の1つが選択され、その最大適化が、閘門部のみでの部分的最大化に縮小され、式(3-2)のような費用関数が評価関数として設定された。

最後に、第4としてこの評価関数の係数、変数には、第4節、および本節1, 2で述べたような仮定が入っているということがあげられる。

以上の諸条件と本モデルとの関係は、図3-13のように整理できる。このシステム図によって、本情報処理とその付帯条件との関係を操作的に検討することが可能となる。

まず、設定された費用関数の合理性、科学性の必要条件は、 $B$ 、 $C_B(S)$ 、と  $Wq(S)$ 、 $W'q(S)$  とが同一レベルの情報であるということである。 $B$ 、 $C_B(S)$  の値には、本節1で述べたようにいくつかの不確実な要素が関与しているが、基本計画のレベルでは、これは不可避である。このことより、 $Wq(S)$ 、 $W'q(S)$  の情報システムにもある程度の単純化が許容される。第4節で設けた諸仮定は、このような意味で合理的であるといえよう。

次に、評価関数に含まれるパラメータ  $\frac{1}{\mu}$ 、 $k$  の推定精度の問題について論じよう。前述したように、大型船舶用閘門のサービス時間は実測できないため、式(3-5)によって推定せざるをえない。もし、この値が閘門の規模決定に敏感に影響するようならば、本モデルによって決定された最適規模は、あまり有用な意味をもたないことになる。ところが、本モデルで認知情報システムとした待ち行列理論モデルは、第2章で述べたように操作性に優れており、 $\frac{1}{\mu}$ 、 $k$  をパラメータとして変化させ、その影響を容易に調べることができるという利点をもっている。実際 図3-11、図3-12、のように  $\frac{1}{\mu}$ 、 $k$  を変化させ、調べてみると、最適規模への影響はあまりないことが判った。従って式(3-5)によって、 $\frac{1}{\mu}$ 、 $k$  を推定することは合理的な方

法として、許容される。以上の議論より、本情報処理においてシミュレーションモデルを用いることは、2重の意味で不合理であることが判る。

一方、図 3-11 にみられるように、本モデルの費用関数は必ずしも下方に凸になっていない。これは、配列が長方形にならないような最大収容隻数  $S$  をも検討対象としていることによる。これは明らかに合理的でない。

次に、本モデルを貫通する大きな仮定であるターミナルシステムのサブシステム間の能力のバランスという問題について論じよう。図 3-13 に示されているように、この問題は、利用率  $\rho$  によって、事後的に検討することができる。第 2 章で述べたように、パースの適正利用率は、 $0.4 < \rho_1 < 0.6$  とされているが、本モデルで決定された最大収容隻数  $S$  を用いて、開門部の利用率を推定すると、 $0.4 < \rho_2 < 0.6$  となっており、パースの利用率と等しくなり、一応バランスが保持されているとすることができる。このことより、部分的最適化という本モデルの処理は、一応合理性をもつとすることができるだろう。また、大型船舶は、特に停船状態では非常に不安定であるとされているが、ちなみに開門部での待ち行列長の平均値を求めてみると、約 1.5 隻となっている。

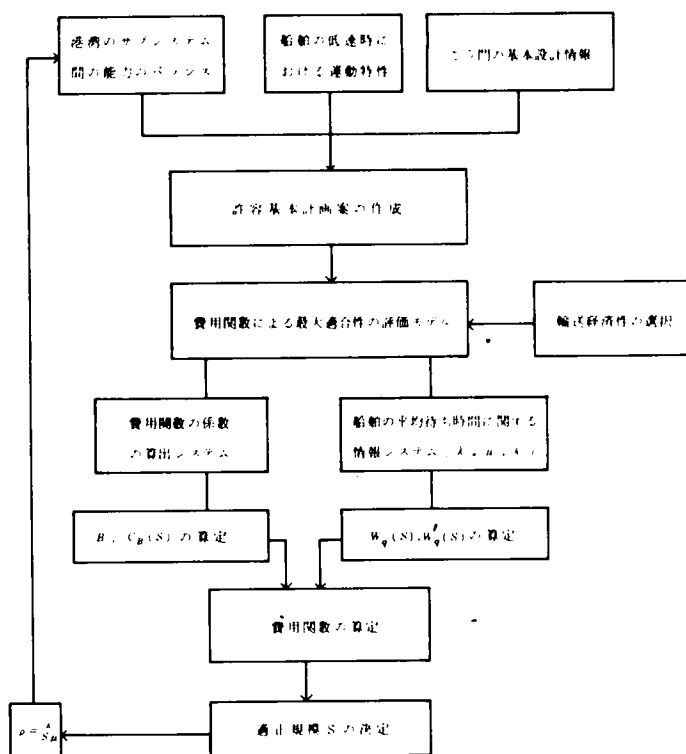


図 3-13 本計画の情報処理構造

いる。実施計画レベルにおいては、これらの処理についてより詳細に、より具体的に検討する必要があることを付記しておく。

最後に輸送経済性という要件は、自己保存系としての社会の要件の1つにすぎない。本計画においては、前述したようにこの要件にバイアスが強くかかることに注意し、他の要件、例えば、港内海水の汚染度、船舶交通の安全性等に関する総合的な評価が必要とされることを指摘しておかねばならない。その場合には、計画の機能を受ける側の計画主体と逆機能を受ける側の計画主体に関する分析も合せて行なうことが肝要であることを付言しておく。

## 第6節 結 言

本章においては、CED変換構造の中枢部にあり、第1章において、著者が計画情報処理システムに関する最重要課題として指摘した、評価(Evaluation)のシステムに関する研究を行なった。

本研究での対象とした開門設置計画構想は、多くの顕在的、潜在的機能をもつものとして検討に値するだけでなく、わが国にとって重要な海上輸送力の確保の手段として、巨大な逆機能の顕在化が強く懸念される現時点にあっては、現実的な意味をもつものでもある。本章では、このような状況にある開門設置計画を対象とし、その評価システムに関する研究を試みた。

著者は、まず、海上輸送システムの計画案評価のパラダイムとされる方法に従って、開門の適正規模決定モデルの開発を行なった。本モデルは、集団サービス形の待ち行列理論モデルを認知情報システムとし、輸送費用を評価関数とする総費用最小化モデルである。

明らかに、このモデルは、第1章で述べた要件充足性最大適化計画案の選択システムのモデル化である。本モデルでは、最大化すべき要件として、輸送経済性という社会的・理論的カテゴリーに属するものが選ばれている。

さて、著者は、第1章において、シンボル性記号情報を処理する計画情報処理にあっては、その評価の過程は、許容化の後に最大化を行なうものでなければならぬという考え方を示した。本研究のモデルでは、許容化の過程は明示されておらず、従って、その決定は、選択された要件の妥当性はさておくとして、最大適合性をもつとしても、許容適合性をもつものであるかどうかは不明であるといわざるをえない。

しかも、前述したように、本計画は、高度にシステム化された現代社会の構造的要因を背景とするものであり、その評価にある種のバイアスがかかることが十分予想されることを考えれば、計画主体の合理的、科学的判断は、困難であると考えるのが一般的である。本モデルにもバイアスが当然かかっていると考えるべきである。そこで、著者は、本計画情報処理の全過程をシステム化し、バイアスを対象化することが、本モデルによる決定の許容適合性を判断するうえでぜひ必要であると考えた。

著者は、まず、本モデルを中心に、開門の適正規模決定過程に関連する諸仮設を整理し、それらの関連をシステム化した。そして、このシステム化が、本情報処理過程に参与するバイアス、諸仮設の介在場所、その背景を対象化させる働きをもち、さらにその影響力の操作的検討を可能にするものであることを、若干の具体的事例によって示した。

本計画情報処理は、基本計画レベルの1つのサブシステムとして合理的、科学的であるとともに、本計画にかかるバイアスを解明するという意味で、また合理的、科学的なものであるといえよう。

結局、システム論的信息処理は、処理過程に介在するバイアス、諸仮設を対象化し、その影響力を操作的に処理することが可能であるという意味において、合理的、科学的であるといえる。これが、真に合理的、科学的になるには、対象化されたバイアス、諸仮定の許容適合性を判断し、修正を求めるべき計画主体の主体性の確立が必要となる。<sup>11)</sup> 第1章で論じた計画主体を機能客体の1単位として把握し、機能を受ける側と逆機能を受ける側とにカテゴリー化するという作業は、その必要条件の1つとして重要なものであるといえよう。

### 第 3 章 参 考 文 献

- 1) 吉川 和広, 木俣 昇 “港口におけるこう門の適正規模決定法に関する研究” 土木学会論文集 154 (1968) pp. 51 ~ 59
- 2) 京都大学土木計画学研究室 「ふ頭標準能力調査報告書」 (1966)
- 3) 前 掲 2)
- 4) K. L. Arora “Two - Server Bulk Service Queuing Process” JORSA 12 (1964) pp. 286 - 294
- 5) N. K. Jaiswal “Time - dependent Solution of the Bulk - Service Queuing Problem” JORSA 8 (1960) pp. 773 - 781
- 6) 運輸省第四港湾建設局 「横断堤計画に伴うこう門調査」 (1967)
- 7) 運輸省第三港湾建設局 兵庫県・尼崎市 「尼崎港こう門増設計画について」 (1962)
- 8) 建設省計画局地域計画編 「パナマ地峡における運河輸送に関する長期計画策定報告書」 (1966)
- 9) 前 掲 7)
- 10) R. C. Ferber “The Role of the Subconscious in Executive Decision-making” M. S., 13 (1967) pp. 519 - 526
- 11) 吉田 民人 “情報科学の構想” 「社会的コミュニケーション」 培風館 (1967) pp. 3 ~ 287

## 第4章 実施計画レベルにおけるシステム論的 情報処理に関する研究<sup>1), 2), 3)</sup>

### 第1節 緒 言

著者は、第1章において、計画階層レベルに応じた情報処理システムの開発が必要であることを述べた。本章においては、海上輸送システムのルートシステムである航路の整備計画を具体的事例として、実施計画レベルにおける情報処理システムに関する研究を試みることにする。

さて、本章において対象とする航路整備計画は、次のような状況を背景としてもっている。その第1は、わが国の海上輸送システムには、瀬戸内海を始めとし、主要港湾の入口等に数多くの狭水路があるが、海上交通量の急増にともなって、この部分での船舶相互の衝突事故が多発するようになった。この危険な事態の早急な解決策として、航路整備計画は現実問題として強く要請されている。第2は、ポートアイランド、新関西国際空港、本一四架橋、等々を含む臨海地域の開発構想が数多く提案されているが、これらの諸計画は、航路システムに直接的な影響を与えるだけでなく、逆に航路システムを補完的（*Complementary*）プロジェクトとするものであり、この容量によって大きく規定されるという関係をもっているということである。<sup>4)</sup>

このような事情を背景に、実施計画レベルでの航路整備計画に関する研究が、重要な課題となっている。第1章で述べたように、実施計画レベルでの情報処理に要請されることは、実行可能性をもつ許容適合化計画案の選択であり、より詳細な説明力をもつ認知情報システムの開発である。

さて、本章で対象とする航路システムは、次に述べるように複雑なシステムである。すなわち、第1に、航路は数10 Kmの長さを持ち、それに横断航路が交差するという大規模なシステムである。第2に、航路を通航する船舶の船型は、100トン以下の小型船より10000トン以上の大型船まであり、速度、船型ともに大きな分散をもつ混合流を形成している。さらに、第3に、船舶自体、大きな慣性力を持ち、安全な操船を行なうためには、複雑な判断が要求される。このようなシステムを詳細に記述するためには、記述可能領域の広いシミュレーションモデルの開発が必要となる。

そこで、本研究においては、認知情報システムとして、シミュレーションモデルが採用されることになるが、このモデルは、記述可能領域の広さには優れるが、操作性に難点をもつため、補助システムを必要とする。著者は、この操作性を補うシステムとして、実験計画法を導入することを試みることにする。

以上のことを念頭におき、以下のような構成に従って研究を行なうことにする。

まず、第2節においては、船舶交通の特徴を詳細に調査し、航路における安全な操船行動の構造化を



行なう。第3節においては、上述の構造化を作業順序図としてシステム化し、シミュレーションモデルとして論理モデル化する。第4節においては、実験計画法を導入した情報処理の論理構造について考察するとともに、直交表を用いて、モデルのパリフィケーション（Verification）のためのシミュレーションを行なう。そして、第5節においては、航路整備計画の実施計画としての航路通航規制、航路の拡幅について検討するとともに、補完的プロジェクトとしての上位計画へのフィードバック情報である主航路、横断航路の容量、および潮流の影響について論じることとする。

## 第2節 航路における船舶通航行動のモデル化

### 1. 船舶交通に関する調査結果の概説

- (1) 船舶交通流に関しては到着分布、船種・船型分布、航路通航位置分布等に関する多数の調査・報告がある。

船舶の到着分布は、20隻/時間以下の航行状態ではポアソン分布が成立するとされている。時間的な変動のパターンは、一般に航路と港湾との位置関係により異なる。港湾周辺部においては荷役作業時間の影響を強く受け、変動は大きい。が、遠くなるほど平滑化され時間的な変化が小さくなることが報告されている。<sup>5)</sup>

船種、船型構成は図4-1、図4-2のようになっており、主航路と副航路では大きく異なる。主航路でも、貨物船・タンカーが90%を占めるものと、客船・フェリーの比率が相対的に多くなっているものがある。一方、副航路では機帆船が50%を占めることが大きな特徴である。

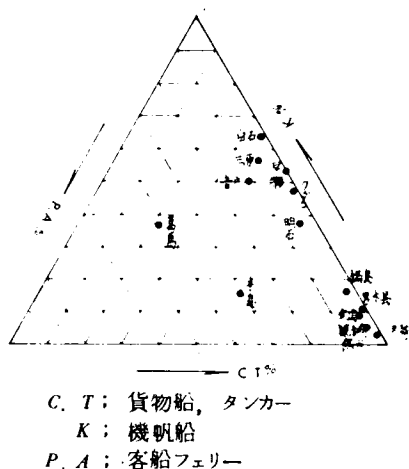


図 4-1 航路別船種構成

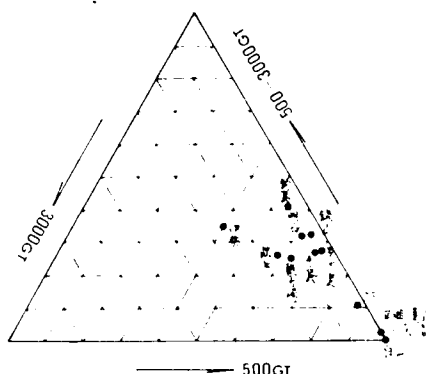


図 4-2 航路別船型構成

航路通航位置は、たとえば、来島の中水道、西水道では潮流が南流の場合には、中水道が南航船舶、西水道が北航船舶の推選航路となっており、通航船舶はこの推選航路にほぼ平行に航行していることが報告されている。<sup>6)</sup>

- (2) 船舶の種々の特性は一般にその垂線間長  $L_{pp}$  との関係で整理されている。たとえば船舶の大きさ ( $GT$ )、満載速力 (ノット)、旋回時間、逆転停止距離 ( $m$ ) 等はその対数を用いて、

$$\log(GT) = 2.82 \log(L) - 2.06 \pm 0.06 \quad (4-1)$$

のように推定されている。<sup>7)</sup> したがって船舶交通に関する記述には、船舶の垂線間長が重要な媒介変数となる。

- (3) 気象、海象と船舶動態との関係については、

- 1 潮流と船舶動態との関係をみると、前方向の船間距離は、順潮に比して逆潮の場合減少し、横方向にはほぼ一定であるとされている。潮流と前方向船間距離との関係は、

$$l = 8 L + 650 \cdot (u/L) \quad (4-2) \quad 8)$$

$$l = 7 L + 5 L_0 (u \cdot V_0 / VL) \quad (4-3) \quad 9)$$

の2種類の推定式が報告されている。ここに  $L$  は船舶の垂線間長 ( $L_{pp}$ )、 $u$  は潮流速 (ノット)、 $V$  は船速 (ノット)、 $L_0$ 、 $V_0$  は定数である。潮流の解析には、その方向性を考慮しなければならないが、主航路では、同方向であり問題ない。横断船舶については、横方向の偏位を加味しなければならないことになる。船速については一般に操船性能が対水速度に関係するから、潮流のある場合は、船舶の大きさと潮流の流速の程度にもよるが、対地速度は潮流分だけ加減される。通航位置に関しては  $3000 G/T$  以上では潮流の影響を受けず、航路内を通航するが、小型船は特殊な航法でそれに対処している。<sup>10)</sup>

- 2) 視程不良の原因は、主として霧、スモッグであり、沿岸地帯の工業化に伴って、年々増加する傾向にある。視程と船間距離、船速、あるいは航行不能日数等については十分な資料がない。

- 3 風波の影響は船舶の航行現象として解析され、調査結果によれば、航路浮標が3カイリピッチとすれば大体  $270 m$  以内で修正されている。<sup>11)</sup> これは船舶の横方向船間距離に関係し、それが  $1.5 L$  程度であれば、この影響は無視し得るといえる。

- (4) 操船者の緊張については、瀬戸内海の6カ所の狭水路での調査がある。<sup>12)</sup> 操船者の緊張を引き起こす航路条件としては、船舶の幅横、潮流、水路幅、湾曲見とおし、浅瀬、航路標識の順となっている。しかし操船者の緊張が操船にどのような変化として表われるのかに関しては資料がない。

以上のように船舶交通に関する調査は、われわれが欲する水準では不十分であり、今後の調査に待たねばならない面が多い。

## 2. 航路における船舶交通の特徴

船舶は、航路の形状、海象、気象および船舶の輻輳度を考慮して、前後 1～3 Km の安全確認領域内の他船舶との安全を確保するために必要な行動系列を、自船舶の操船性能に規定された範囲内で決定する。船舶は、一般にその大きな慣性力やプロペラ推力の左右不平衡性、潮流等非線形的な力関係に起因する種々の特殊性を持つが、モデル的には、他船舶との衝突回避の状況を想定し、前方向、横方向の閉塞領域<sup>13)</sup>が侵害されない行動の中から、操船上の安定性、通航所要時間を比較することによってその行動系列を決定しているとすることができるだろう。

横方向の閉塞領域とは、2船がすれちがう時、「2船間の海水の運動によって相互に吸引力が作用し、接触する危険を回避するのに必要な船舶間の横方向距離」であり、その大きさは一般に船舶の垂線間長  $L$ 、あるいは  $1.5 L$  程度とされている。<sup>14)</sup> 一方、前方向の閉塞領域は、状況に応じて種々想定される。たとえば、2船舶の他に障害物が少なく十分な水域がある場合は、主機反転、35度転舵で惰行する直進距離とすることができる。しかし、水域が狭く左右に船首が振れては危険な場合は、主機反転を用いることができず、<sup>15)</sup> 極微速後進、錨をもって停船できる距離となる。実際に航路で観測される前方向閉塞領域はだいたいこの間の値である。

藤井らは、(1) 先行船の運動状態の変化を認めるまでの時間と、(2) 適切な避航動作が行なわれるまでの時間をもとに、船舶の垂線間長  $L$  を用いて、図 4-3 のような  $8 L$ 、 $3 L$  の半だ円形をその船舶の閉塞領域として推定している。<sup>16)</sup> 一方、京浜運河、浦賀水道での船舶間の距離の実測調査<sup>17)</sup>では、船長 10～50 m の船舶の閉塞領域は、横方向に 50～120 m、前方向 150～200 m、船長 70～130 m の船舶については、横方向 250～350 m、前方向 500～1000 m

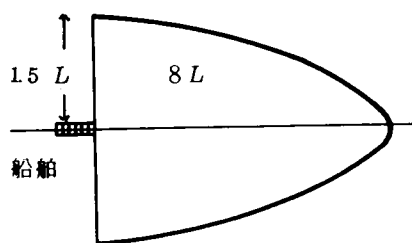


図 4-3 船舶の閉そく領域

となっている。

もちろん、船速、潮流、視程、幅員度、さらに操船者の心理的要因によって、これら閉塞領域の値は変化するし、先行船が後続船に転針や減速を通知し、後続船がそれを確認するようにすれば、大幅に減少するとされている。閉塞領域の概念は船舶交通の定式化において重要なものであるが、上でみたようにその大きさは種々想定される。われわれは、この値を操作可能なようにモデルに組み入れることにより、この問題を解決する必要がある。

他の船舶交通の特徴として、慣性力の制御困難性に起因する (i) 自由走航、(ii) 旋回、(iii) 減速、(iv) 機関停止および、(v) 反転という行動選択の順序性の傾向をあげることができる。これは、船舶の航跡調査によっても推測されている。運輸省が実施した調査<sup>18)</sup>によれば、船舶は衝突回避行動として減速や機関停止、反転を必要とする以前に前方船を旋回で回避し、自由走航を追求していることがわかる。また、潮流や推進機関等、非線形的な力を受ける操船において迅速性のみならず力学的安定性を重視するのは当然であろう。実際に観測される船舶の動態は、潮流、視程、航路の屈曲、陸岸の影響等が複雑に関連し、さらに操船者の心理的要因が加わった結果である。

### 3. 船舶の行動系列決定システムのモデル化

2において、航路における船舶交通の特徴について説明したが、その中から次のようなものを基本的構造として抽出し、船舶の行動モデルの作成を行なう。

すなわち、船舶交通の基本的構造として、

- (i) 一定距離の安全確認領域の存在
  - (ii) 他船との安全を確保するための、前方向、横方向の閉塞領域の存在
  - (iii) 前述の5種類の操船行動間の選好順序の存在
- を仮定する。

また、航路を図4-4のように、安全確認領域と船舶の垂線間長とによって、ブロック、レーンに分割し、第1ブロック、一般ブロック、交差ブロック、および最終ブロックと呼ぶことにする。

船舶の行動系列とは、図4-4の第1ブロックにおける船舶到着に始まり、各ブロックの通航行動の決定を経て、最終ブロックの通航完了確認によって終了する一連の船舶の採用行動の系列である。

なお、本研究では、主航路に優先指定がない場合を取り上げることにする。このような場合には海上衝突予防法によって、他船を右舷にみる船舶が他船の進路を避けるものとされている。したがって、図4-4において主航路を通航する船舶は左から右へ、横断航路を通航する船舶は下方から上方へ通航する場合を主にモデル化することになる。

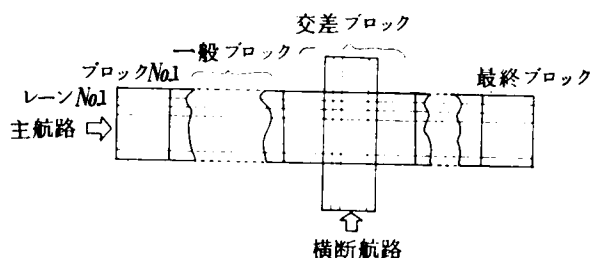


図 4-4 航路のモデル図

(1) 一般ブロック内通航のモデル化

船舶の航路内航行の条件は、次のようなものである。

- i) 横方向の閉塞領域の確保
- ii) ブロック内およびブロック通航完了時点での前方向の閉塞領域の確保
- iii) 船舶はその動力機関の特性上、非連続的な 80 %、60 % の二段階の減速速度を持つ。  
(この範囲で他船との安全を確保できない場合は機関停止、あるいは極微後進を必要とする  
が、この場合は操船性が非常に低下するので異常として記録する必要がある。)
- iv) 船舶は後方の船舶との安全が保てる限り、前方船を 2 船まで旋回で通航レーンを変更する  
ことにより回避することが許される。
- v) 航行中後方より自船より速い船舶が航行してきた場合、自船が別に定める通行路移譲義務  
船の場合には、その通航位置を開放しなければならない。自船が何らかの理由で旋回できな  
い場合はこの限りではない。

これら 5 個の前提条件のもとで、ブロック内通航の最早の行動を予定行動として選択する。そ  
して、予定通航完了時において、次の 2 種類の事項

- i) ブロック内通航中に、前方船が減速によって自船の閉塞領域を侵さなかったか。
- ii) ブロック通航完了時点において、次ブロック内に自船の閉塞領域を侵している船舶がい  
ないか。

の確認を行ない、実行動とする。

この 2 つの安全確認において不備が生じた場合は、ブロック内の通航予定行動を変更し、再度  
安全確認を行なう。

(2) 交差ブロック内通航のモデル化

主航路に優先権が認められていない場合には、海上衝突予防法が適用されるので、航路横断船

船が著しく増加するならば主航路の通航に支障をきたす。交差ブロックにおける主航路通航船舶の行動は次のような制約を受ける。

- i) 別に定める横断船舶に対する安全確認領域内の全船舶に対して、交差完了するまで、相互の閉塞領域を確保する。
- ii) 主航路通航船舶は海上衝突予防法により右舷に見る横断船舶の通航をさまたげてはならない。そして横断船舶を回避する場合には必ず横断船舶の後方を通航しなければならない。
- iii) 船舶の減速は一般ブロックと同じである。
- iv) 主航路を通航中の他船との安全確認は一般ブロックの場合と同じである。
- v) 横断船舶によって主航路が通航できない場合には、交差ブロック入口において、通航可能となるまで待機しなければならない。この場合も異常事態として記録する。
- vi) 交差ブロック入口で待機船がすでにいる場合、その待機位置が自船の閉塞領域を侵害するなら、待機船が動き出すまで交差ブロックへの侵入は許されない。

ここで、通航路移譲義務船とは後続船の船速、船型との差がある一定値以上の場合の前方小型船を指すものとする。これは航路の通航規制の一種であり、計画の1つの手段として政策的に決定されるものである。本研究では、通航船舶を船種、船型の組み合わせによって表4-1のようにランクに分けている。ここでは通航路移譲義務船は、ランク差が2以上の小型船とする。

上述したように、かなり詳細なモデル化になったが、これは、前述したように、実施計画レベルにおいては、事実対応性、実行可能性に関する許容水準がある程度の高さをもつことが要求されるからである。

表 4-1 船舶統一ランク表

船 種 トン数	貨物 船	タ ン カ 船	コ ン テ ナ ー 船	機 関 船
500 以下	1	1	3	1
500 ~ 1 000	2	2	4	
1 000 ~ 3 000	3	3	5	
3 000 ~ 6 000	4	4		
6 000 ~ 10 000	5	5		
10 000 ~ 40 000	6	6		
40 000 以上		7		

### 第3節 航路通航船舶のシミュレーションモデル

第2節において、かなり詳細な航路通航船舶行動に関するモデル化を行った。それらは、図4-5、図4-6、および図4-7のように作業順序図によって容易にシステム化される。計算機によるシステムシミュレーションには、第2章で述べたように、システムの全状態が完全に論理モデル化されていることが必要であるが、この作業順序図は、この要求に答えるものである。たとえば旋回、あるいは第一、第二減速で前方船との安全が確保できない場合の追従や、交差ブロックへの進入待機の状態は、船舶の運動特性上不安定かつ危険であり、実際の船舶交通においては異常事態であるが、船舶数を増加させてシミュレーションを行なえば、これらの事態はシステム内部ではある確率で出現する。図4-5に示されているように、作業順序図は、これらを見逃がさずに論理モデルに組入れるのに役立つ。

さて、航路は、図4-4に示されているようにレーン、ブロックによって分割されている。従って船舶の航路内での位置は、このレーン、ブロック番号とその領域における座標、すなわちブロック入口からの距離とによって表示することができる。シミュレーションモデルを作成するには、レーンの幅は、船舶の垂線間長  $L$  を、ブロックの長さは安全確認領域の長さを基準に設定するのが便利である。

また、第2章で述べたように、シミュレー

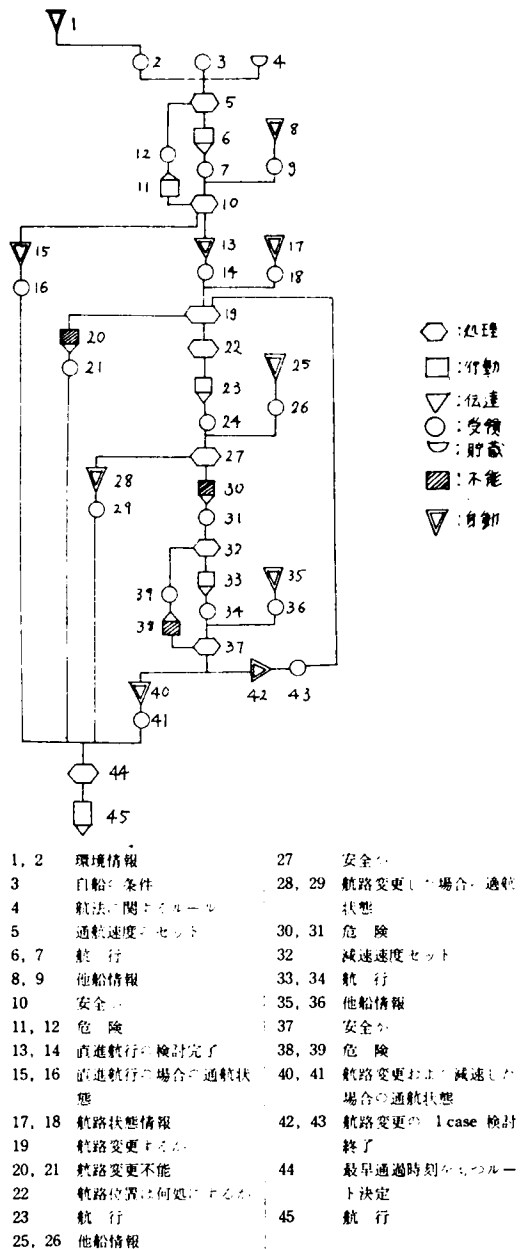


図 4-5 ブロック内通路予定行動決定システム

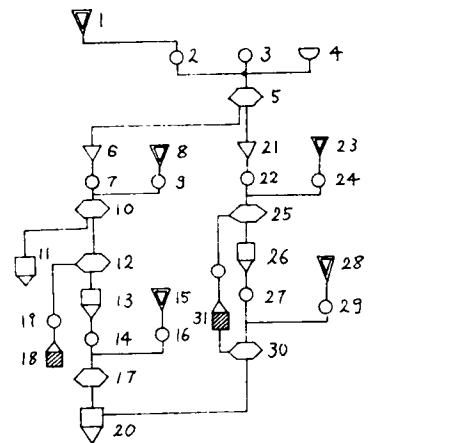
シミュレーションモデルの作成には、時間の進行方式の決定が必要となる。前述の航路通航に関するモデル化より、著者は、ブロック内での船舶の動態記述には、一定時間増分法を、安全確認に関しては、「船舶のブロック入」あるいは、「出」でもって事象を定義し、これらの事象の生起によって時間を進めるという可変時間増分法を採用することにした。

本シミュレーションモデルの基本構造は、図4-8に示すように、(i)船舶の発生部分、(ii)ブロック内通航の予定行動の選定部分、(iii)最早事象の探索部分、(iv)通航完了の確認部分、(v)予定行動の修正部分、および(vi)異常事態の検出部分よりなっている。

船舶の発生部は、航路システム図、図4-4の第1ブロックにおける主航路通航船舶の発生および交差ブロック入口における横断船舶の発生を、それぞれの到着分布に従って行なう。到着分布は一般的にはポアソン分布が経験的に設定されるが、対象航路と各港湾との位置関係によって異なるため、<sup>19)</sup>ここでは任意分布を設定できるようにした。

ブロック内通航行動の予定表の作成、通航の安全確認、予定行動の修正部は、前節で定式化された、図4-5、図4-6および図4-7をサブシステムとする。また本モデルでは計算機の容量制限よりシステムの状態が、10隻以上の待機船をもつことになれば、一時横断船の発生を停止し、その旨を記録し、計算を続行することになっている。本シミュレーションモデルの記憶容量は、約3万ワード、内変数1万4千、プログラム1万5千であり、10時間分のシミュレーション時間は到着船舶数  $\lambda = 12 \sim 42$  隻/時間 のとき、FACOM 230-60 で約3~4分である。

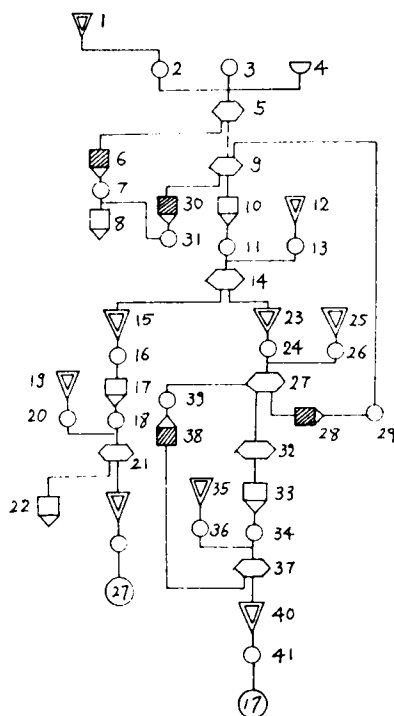
本モデルの特徴は、船舶の垂線間長、占有レーン数、船速、旋回性能；安全確認領域長；前方向、横方向閉塞領域長；および安全確認方式ですべてが決定されるという点である。したがって、他の要因は





従って本モデルの有効性は、本モデルに直接表現されていない航路システムの環境要素をいかにこれら内部要素と関連づけ、分析するかにかかっている。後述するように、この問題は、システム論的方法がもつ構造的、操作性を利用することによって解決される。

前述したように、本研究の目的とする情報処理レベルは、実施計画レベルのそれである。そこで、船舶の第1ブロック、交差ブロックにおける侵入待ち、ブロックごとの通航速度、通航位置、通航所要時間、採用行動（自由速航、減速、旋回、および異常減速）の内容、および航路内航行船舶数という低いストラータのものを出力できるようにした。これらを用いれば、遅延時間や侵入待ち時間の平均値等の高いストラータの情報も入手することが可能となる。



1, 2	環境情報（航路・待機船情）	21	安全（航路）
	報	22	通過予定決定
3	自船の条件	23, 24	航行不能
4	航路・航路情報	25, 26	航路状態（航路・後方船情）
5	自船・近航路前方・待機船・航路情報	27	報
	船・航路情報	28, 29	航路変更（航路・航路）
6, 7	行動不能	30, 31	航路変更不能
8	待機	32	減速不能
9	通航速度（セツト、減速可能）	33, 34	航路位置選択
10, 11	航行中（航路・航路情報）	35, 36	航行中（航路・航路情報）
12, 13	横断船舶情報	37	安全（航路）
14	安全（航路）	38, 39	航行不能
15, 16	安全（航路）	40, 41	横断船舶安全
17, 18	航行中（航路・航路情報）	42, 43	前方船・対峙・危険
19, 20	前方船舶情報		

- 80 -

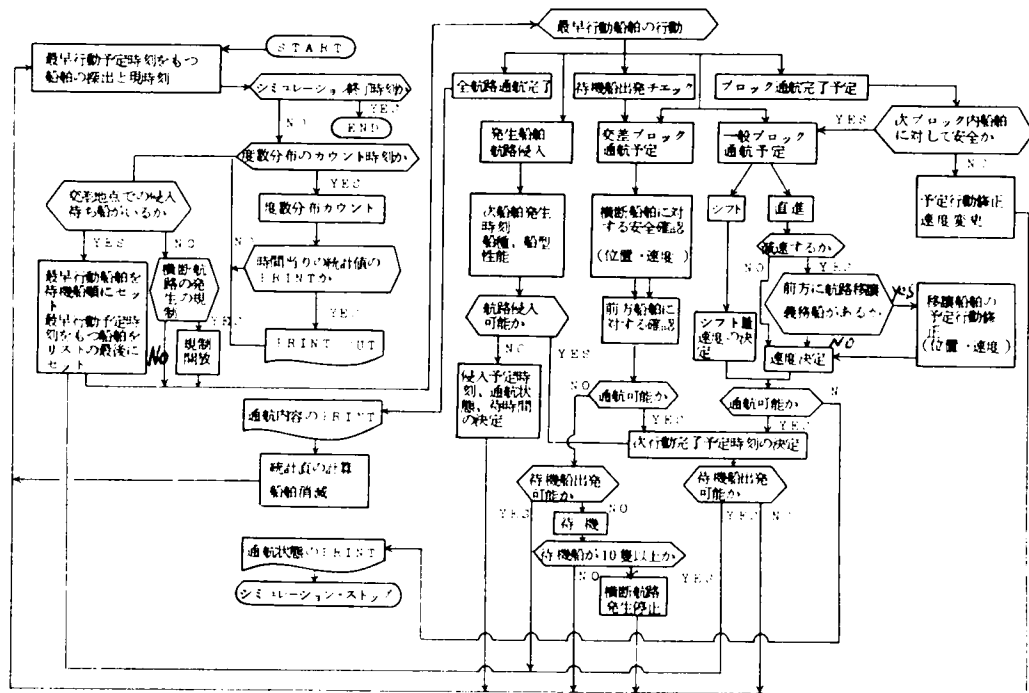


図4-8 航路シミュレーション・システムの概要

## 第4節 実験計画法による情報処理

### 1. 実験計画法による情報処理システム

著者は、本研究においては、次のような2つの理由で、実験計画法を導入することを提案する。その第1は、船舶の航路通航に関するシミュレーションモデルが、前述したように非常に複雑なシステムであり、そこに含まれる全ての要素の事実対応性を同一にすることは、実現困難であることによる。実験計画法は、これら諸要素の寄与率を明らかにし、各要素の事実対応性の許容水準に関する合理的、科学的判断情報を提供してくれる。第2の理由は、第2章で述べたように、シミュレーションモデルは、操作性に難点をもち、情報獲得効率の高い補助システムが必要とされるが、実験計画法は、それを1つの目的とするものであることによる。<sup>20)</sup>

- 第2章において、著者は、次のような3段階よりなる情報処理過程について述べた。すなわち、
- (1) 対象の構造化、(2) 論理モデル化、および (3) 論理モデルの操作による情報獲得の3段階である。
- <シミュレーションモデル—実験計画法> という本研究の情報処理過程を、このモデルと対応させてみれば、次のような概念が計画情報処理に用いられていることが判る。すなわち、
- (i) 「戦略集合」、「環境集合」、および「結果の集合」という  $M \cdot K \cdot \text{スター}$  の計画モデル概念<sup>21)</sup>によって、対象の目的論的構造化がなされる。
- (ii) 次に、「内部要素」、「周辺要素」、および「環境要素」というシステムの一般理論で使用される概念<sup>22)</sup>区分によって、操作可能な論理モデル化がなされる。
- (iii) そして、「制御因子」、「標示因子」、および「特性値」という実験計画法の概念<sup>23)</sup>によって、(i)、(ii)の概念の対応化がなされ、目的性と操作性をもった情報処理が実行される。

明らかに、(i)、(ii)、および(iii)の各段階で使用される概念は、一対一に完全に対応するものでなく、ずれがある。このずれの存在を認識することも、システム論的信息処理に関する合理的、科学的認識を確立するうえで重要な問題であるということを指摘しておきたい。実験計画法の導入は、シミュレーションモデルの情報操作性を補う手段であると同時に計画情報処理に関する合理的、科学的認識の確立にも寄与するものであるといえよう。

## 2. シミュレーションモデルの要因分析

前述したように、本モデルには数多くの要素が複雑に関連しているが、全ての要素の情報レベルを同一にすることは困難である。そこで著者はまずシミュレーション結果に与える各要素の影響を推定するために、実験計画法による要因分析を行なうこととする。

実験計画法による要因分析には、目的に応じた適切な要因と特性値の選定が必要となる。まず、特性値の選定について考察しよう。

前述したように、航路整備計画は、海上輸送システム、臨海地域計画等の補完的計画として位置付けられる。このような補完的計画である航路整備計画にあつては、航路の交通容量は、フィードバック情報の1つとなる。

交通容量の概念に関しては、まず1950年 *Highway Capacity Manual* において、基本交通容量、実用交通容量、可能交通容量の3種類の概念が明らかにされ、次いで1966年、道路計画、あるいは既設道路の交通量の評価のために「サービス水準」によるサービス交通容量が定義された。航路の交通容量についても同様の概念を導入することができる。上述の定義にもとづけば、「サービス交通容量」の水準規定項目として、相互に重複するが、(1) 速度および旅行時間、(2) 交通の中断、または障害、(3) 行動の自由性、(4) 安全性、(5) 運転の快適性および容易性、(6) 経済性

の6項目をあげることができる。

船舶の交通に関して上述の項目を検討すれば、船舶の運動特性上、第2項目の交通の中断または障害は、他の項目を全面的に規定するクリティカルなものといえる。しかし、船舶交通における船舶の停止は非常に危険なものとされ、異常事態である。計画時点において、システムの異常事態の発生確率を予測しておくことは非常に重要であるが、補完的なシステムである航路の計画にあっては、異常事態の発生確率は非常に小さな値に保たれている必要がある。著者は、このような考えのもとに、航路システムの定常的な状態での挙動を解析対象とする。

さて、船舶の遅れは航路通航中旋回や減速を必要とする場合に発生する。これは行動の自由性、安全性、快適性、容易性を低下させる。もちろん(1)、(6)の項目とも直接関係する。そこで、著者は航路システムの特性直しとして、〈期待通航所要時間からの遅れ〉を採用することにする。ここで、期待通航所要時間とは、船舶が巡航速度で航路全長を自由走航するに要する時間と定義する。

次に、要因の選定とその水準の設定について論じることにする。

まず、本シミュレーションモデルの構成要素とその相互関連性を整理すると、図4-9のようになる。これらの要素は、(1)航路の地理的、物理的条件、(2)航路の社会・経済的立地条件、(3)船舶の運動特性、(4)人的要素、および(5)計画手段の5つの群に大別されるだろう。また、図中、2重わくで囲まれた要素は、本システムにおいて直接操作しえるものであり、他の要素は、これら

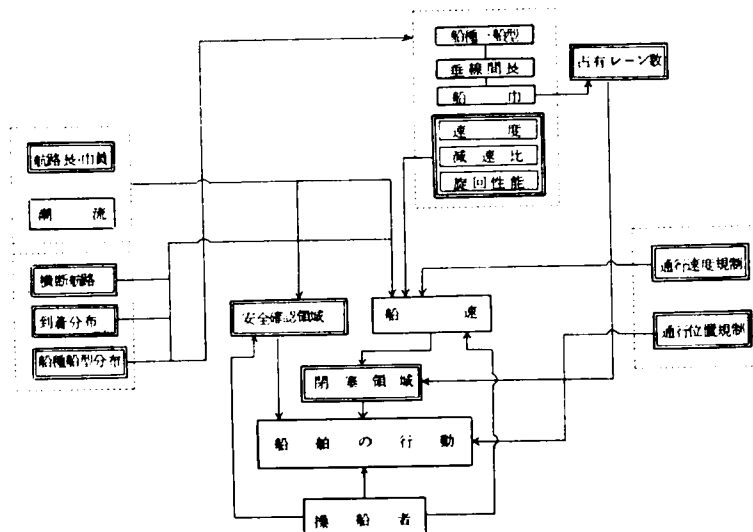


図4-9 航路システムの要因関連図

の要素を通じて、本モデルに作用する。

著者は、これらの要素群より 表 4-2 に示す 9 つの要素を基本的な要因として選定するが、その理由と分類は、次のようである。

a) 制御要因

表 4-2 要因表

船舶交通の特徴の 1 つとし

て、航路通航船舶の船種、船型および船速ともその分散が大きい混合流であることをあげることができる。航路通航船舶に関する速度、通航位置の規制は、補完的システムである航路容量を増大させる有効な計画手段となる。そこで、制御因子として、

(i) 船舶の最高通航速度を、

現在、瀬戸内海で観測される値に近い 10 ノットに規制する場合と、規制しない場合の 2 水準をもつ速度規制と

(ii) 500 トン以下の小型船の

通航を航路中心より外側半分の水深の浅い所だけに規

制する場合と規制しない場合の 2 水準をもつ通航位置規制

とを設定することにした。

b) 標示因子

標示因子には、(i) 航路の立地条件よりくるものと、(ii) 調査・統計の誤差よりくるものがある。

(i) 船舶の到着パターンは、航路と港湾との位置関係により異なる航路に固有の要因である。

ここでは、ピーク率との関係で 4 種類の水準を設定した。船型構成は主航路と副航路では当然異なる。さらに将来の造船技術の革新による大型化も予想される。ここでは現状の値と大

要 因	水準	レ ベ ル 内 容
A 船 型 構 成	1	備讃瀬戸の西行観測データ
	2	水準 1 の大型船舶を 1.5 倍
B 船舶発生パターン	1	ピーク数 1, ピーク率 3/4
	2	ピーク数 1, ピーク率 1/2
	3	ピーク数 1, ピーク率 1/4
	4	ピーク数 0
C 安全確認領域	1	2000 m
	2	2500 m
D 最小船間距離	1	垂線間長 (L) × 8.4
	2	$L \times 8.4 \times 0.8$
E 占有レーン数	1	$L \times 1.5$
	2	$L \times 1.0$
F 減速による最小船間距離の補正率	1	95 %, 75 %, 60 %
	2	95 %, 80 %, 70 %
G シフト所要時間	1	旋回試験の観測データ
	2	$J_1 \times 1.2$
H 航 路 規 制	1	有り
	2	無し
I 船 速 規 制	1	無し
	2	有り

型化の一例として、現状の大型船比率を 50 % 増した水準を設定した。備讃瀬戸の観測データは、表 4-3 に示してある。

表 4-3 備讃瀬戸船種構成

船 種		貨物船	タンカー	客 船	フェリー	機帆船
発生比率	主 航 路	0.50	0.20	0.05	—	0.25
	横断航路	0.06	0.40	0.03	0.80	0.07

(ii) 他の要因は統計的誤差の影響による変動に関する標示要因と考えられ、その変動範囲を水準 1、水準 2 として取ることにした。たとえば横方向閉塞領域を指定する占有レーン数は、 $L$  と  $1.5L$  の説があり、本分析では水準 1 として  $1.5L$ 、水準 2 として  $L$  を取った。著者は、表 4-2 の要因を直交表  $L_{16}^{15}$  の線点図により、図 4-10 のように割り付け、FACOM 280-60 により実験を実行し、分散分析表 4-4 を得た。表 4-4 に示す寄与率より、次のようなことが指摘できる。ここでは、航路幅員は 600 m としている。

当然の結果ではあるが、占有レーン数  $E$  が一番支配的であり、その寄与率は約 57 % である。図 4-11 の要因効果図をみると、この要因が  $E_1 = 1.5L$  より  $E_2 = L$  に変化することにより、システム特性値である遅れ時間は 3.4 分より 1.4 分になり、約 2.5 倍の変化をすることがわかる。このことを図 4-9 の要因間の関連図と合わせて考えれば、直接的

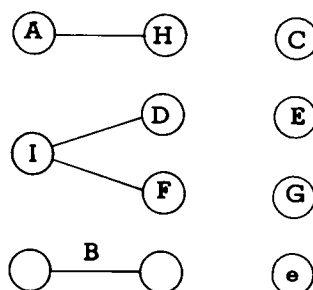


図 4-10 直交表  $L_{16}^{15}$  線点図による割付け

には横方向の閉塞領域が、そして船種、船型構成も間接的にはあるが、システムを規定する重要な要素であるといえよう。

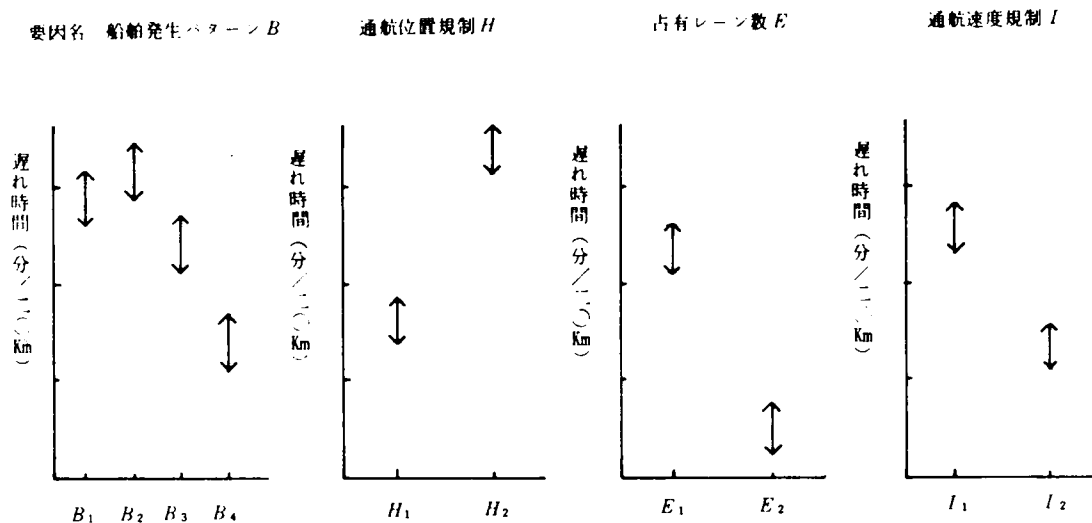


図 4-11 航路システムの要因効果図

表 4-4 分散分析表

要 因	自由度	SS	$mS$	$F$	$\rho(\%)$
A	1	0.075	0.075	—	0.03
B	3	6.641	2.214	51.85	5.16
C	1	0.663	0.663	15.52	0.49
D	1	3.111	3.111	72.85	2.43
E	1	71.667	71.667	1678.39	56.73
F	1	0.333	0.333	7.80	0.23
G	1	2.158	2.158	50.54	1.68
H	1	1.340	1.340	265.57	8.95
I	1	20.165	20.165	472.25	15.94
A×H	1	0.012	0.012	—	—
I×D	1	0.034	0.034	—	—
I×E	1	9.995	9.995	234.07	7.88
$e_1$	1	0.050	0.050	—	0.48
$e$	4	0.171	0.043		
ST		126.244			100.00

他の本システム標示要因は、いずれもその寄与率が 10 % 以下であり、その設定の差異による影響は少なく、一応安定したシステムであるといえる。しかしその中でも 図 4-11 に示したように、船舶の発生パターンは水準 2 で特性値が最大値を持ち、水準 4 で最小値を持つ要因であることは注目に値する。これは波動性が交通流に大きな影響を与えることを示している。航路への船舶到着パターンは、その航路の独自の特性であり、従って航路の交通容量は、日当りのものと時間当りのものとの間に線型的な関係が成立しなくなる。従って、計画情報処理において、この要因の水準を標示しておく必要があるといえよう。

制御要因である通航位置規制 *H* および速度規制 *I* の寄与率は、おおよそ約 9 %、16 % である。これは占有レーン数に次ぐものである。このことより航路の浚渫、拡張と同様、上位の計画構想を実現するための有効な手段として、またソフトな計画手段として、著者は次の節で、再度この問題を取り上げ、より具体的な規制について検討を加えることにする。

## 第 5 節 実施計画よりのフィードバック情報

航路整備計画は、上位の臨海地域の開発計画の補完的プロジェクトの 1 つとして、その実施計画の策定が要請される。第 1 章で論じたように、下位計画である航路計画は、上位計画より要請された要件が、時間的、資金的、技術的等の諸制約の内で充足させることができるかどうかを、上位計画にフィードバックしなければならない。本節では、航路整備計画の実施手段とともに、このフィードバック情報について考察することにする。

### 1. ソフトな計画手段の評価と環境要素の分析

航路整備計画への要請は、航路容量の確保である。航路容量を増大させる計画手段には、航路の幅員を拡大するというハードな方法と、船舶の通航規制を設けるというソフトな方法とがある。第 1 章で述べたように、ハードな方法は、逆機能をともなうため、ソフトな方法が望ましい。ここでは、前節の分析結果を参考にし、次のような通航位置規制をとりあげ検討することにする。すなわち、

水準 1 ; 規制なし

水準 2 ; 速度に着目し、低速船である機帆船を航路外側 200 m に、ランク 3 以上の高速船を航路内側 400 m に規制し、混合流を分離する。ただしフェリー、客船のランク 2 も高速船に含まれる。

水準 3 ; 船舶の大きさに着目し、フェリー、客船を除くランク 1 の小型船を航路外側 200 m、ランク 4 以上の大型船（ランク 3 のフェリー、客船を含む）を航路内側 400 m に規



制する。

航路容量は、潮流、主航路を横断する船舶数によっても変化する。前節の要因関連図より判るように、潮流は、本モデルで直接操作することはできず、船舶の速度、前方向閉塞領域の変化としてモデルに作用する。

一般に船舶の操船性能は対水速度に関係しており、船舶の大きさと潮流の流速の程度にもよるが、船速は潮流速分だけ加減される。潮流のある場合の前方向閉塞領域としては、前述の調査結果にしたがい式(4-3)の関係式を採用する。

また、主航路を横断する船舶数は、主航路に優先権が認められていない場合、その増加は(それは臨海地域の開発計画より当然予測される。)主航路の機能停止という事態を引き起す要因となる。

そこで、これら3要因を選定し、表4-5のような水準を設定し、計画手段の効果とともに、これら環境要素の影響についても検討することにする。

表 4-5 要因と水準

要 因	水準	レ ベ ル 内 容
A. 潮 流	1	逆流 2ノット
	2	潮流なし
	3	順流 2ノット
B. 航路規制	1	航路規制なし
	2	船速による分離規制
	3	船型による分離規制
C. 横断隻数	1	通航船舶なし
	2	4隻/時間
	3	9隻/時間

表 4-6 要因割付け表

要 因	1	2	3	4	5	6	7	8	9
潮 流	1	1	1	2	2	2	3	3	3
航路規制	1	2	3	1	2	3	1	2	3
横断隻数	1	2	3	2	3	1	3	1	2
誤 差	1	2	3	3	1	2	2	3	1

実験は FACOM 230-60 を用い、直交表  $L_9^4$  による表4-6の割付け表に従って実施し、9個の資料を得た。実験は航路への平均到着率  $\lambda$  の各水準で、10時間のシミュレーションを行ない、時間当りの影響船舶比率を求め、その平均値が80%となる到着率  $\lambda^*$  を特性値とした。また、この  $\lambda^*$  を到着率とする場合の、航路通航船舶の旋回回数、減速回数の平均値も合せて求めた。

ここに影響船比率とは、通航完了船舶数に対する旋回、減速を行なった船舶数の比率である。

表4-7は、 $\lambda^*$  を特性値としたときの分散分析表である。

この表より、横断船舶 C の寄与率は3%であり、一応われわれが想定したようにその影響があまりない状態にあることが確認できる。しかし、その効果の量は小さいが、図4-12の要因効

果図は、この要因の水準の増大にともなう、特性値が容量減少の方向に単調に変化してくることを示している。このことより、この要因の重要性が推測される。著者はこの横断船舶の影響については次項で改めて考察を加えることにする。

表 4-7 分散分析表

要因	自由度	SS	MS	F	$\rho$ (%)
A	2	0.307	0.153	65.4	57.53
B	2	0.193	0.096	41.15	35.86
C	2	0.021	0.010	4.38	3.02
$e_1$	2	0.005	0.002	1.00	—
e	0	0	0		(3.59)
ST		0.524			100.00
誤差		0.005	0.002		

\* 到着隻数  $\lambda^*$  を特性値とする。

環境要素である潮流 A は前節の分析結果と要因関連図とからも推測されるように、57% という大きな寄与率をもつ。大きな混合流である船舶交通流においては、速度差および前方閉塞領域長の分散は、大きな影響力をもつだろう。

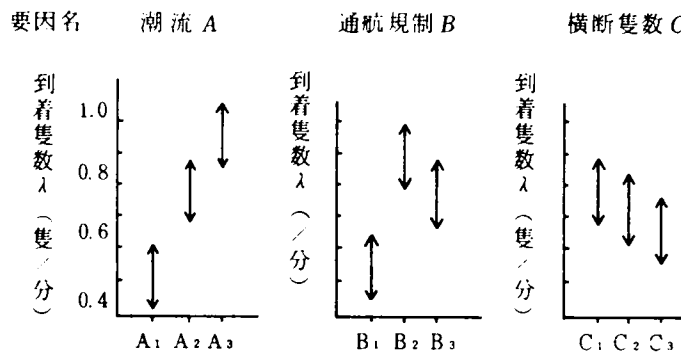


図 4-12 要因効果図

潮流は、式(4-3)の関係を通じてモデルに導入される。この場合、速度は潮流  $u$  の正、負に応じて、右あるいは左に  $|u|$  だけ移動するだけであり、分散は変化しない。しかし、閉塞領域は、 $u/L$  の項のため分散が変化する。 $L$  が小さい小型船では影響が表われ、したがって分布の下方が  $u$  の正負により左右に移動する。

図 4-12 の要因効果図における順潮、逆潮の関係は、上述の理由によるものである。すなわ

ち、逆潮では、閉塞領域の分散が大きくなり、影響船舶が増大する結果である。

船舶交通においては、ある範囲では旋回と減速は補完的な関係にある。航路通航位置規制は旋回範囲を制限するものである。表 4-7 の分散分析表によれば、航路通航位置規制 B の寄与率は 36% であり、その効果は図 4-12 に示されている。これより、規制による旋回制限にともなう減速回数の増大は、規制による混合流の分離により、あまり大きくならないことがわかる。このことは、船速を基準とする規制である水準 2 と、船舶の大きさを基準とする水準 3 とを比較すれば、より一層明らかとなる。すなわち、図 4-13 において水準 2 が旋回、減速回数についても水準 3 を上まわり、 $\lambda$  で与えられる容量を増大させている。これは船型、船速ともに大きな分散をもつ船舶混合流においては、速度による分離が有効であることを示している。しかし船舶は、前述したように、垂線間長と船速が単調な関数関係にあるから、速度による分離は、実は船型の分離も含んでいることになるからである。

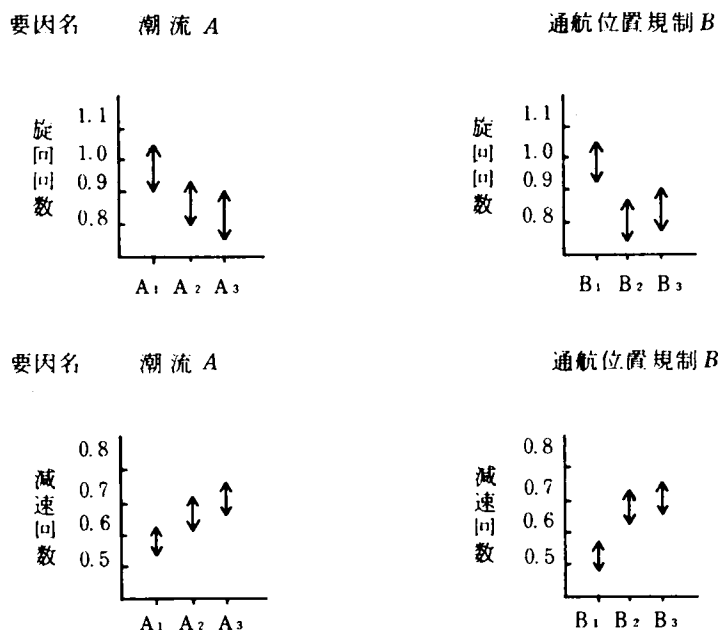


図 4-13 旋回、減速回数に対する要因効果図

なお、上述の分析より判るように、要因分析における数値だけでなく、要因効果図に表われるパターンに注意することが肝要となる。

以上のように、実験計画法は、非常に情報獲得効率の高いシステムである。シミュレーションモデルのように、その操作性に難点をもつシステムを認知情報システムとする場合には、ぜひ必要と

なるものであることが判る。

## 2 フィーバック情報

前述したように、補完的計画としての航路整備計画システムよりのフィーバック情報としては、航路交通容量が重要である。著者は、その推定法についての若干の検討を試みるとともに、(1) 主航路交通容量の推定と、(2) 横断航路容量の推定を行なうことにする。

### (1) 主航路交通容量の推定

航路交通容量を判定する外的基準としては、

- (i) システムの状態が大きく変化する到着隻数
- (ii) 影響船比率が、80% となる到着隻数
- (iii) 到着隻数と通航完了隻数との平均値にある程度の差を生じる到着隻数

という3つのものが考えられるだろう。まず、これら外的基準による航路容量を推定し、その比較を行なうことにする。

本分析では、航路幅 600 m の直線の主航路に幅員 700 m の横断航路が直角に交差しているモデル航路を対象とする。そして、横断船舶数は、本節1.の分析における水準  $C_2$  と  $C_3$  の中間値、すなわち、現在の瀬戸内海航路の 50% 増の 6 隻/時間、主航路の船種、船型構成は本第1節の分析における水準  $A_1$  すなわち、備讃瀬戸の現状値を想定した。到着パターンは、簡単のためピークなしの水準  $B_4$  を採用する。

また、航路システムの状態は、減速回数、旋回回数、遅延時間、侵入待ち時間、減速ブロック数、および異常減速ブロック数の6個の値を要素とするベクトルによって表現することにする。

到着隻数  $\lambda$  (隻/時間) を 6 きざみで増加させ、おのおのレベルで 10 時間のシミュレーションを実施し、上述の6個のシステム状態ベクトルの要素の各々の変化を調べ、図 4-14 を得た。

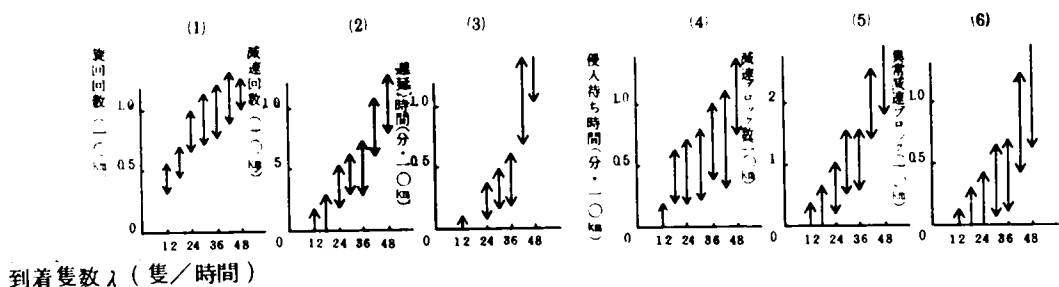


図 4-14 システムの状態ベクトルの変化

同時に、影響船舶比率と  $\lambda$ 、通過完了隻数と  $\lambda$  との関係を求め、図 4-15、図 4-16 に示した。

前述の外的基準 (i) に対しては、図 4-14 の各グラフより、 $\lambda = 36$  以上でその特性値が急増することが観察されるため、その容量は 36～42 隻/時間 程度であるとみることができる。同様に、外的基準 (ii) に対しては 39～45 隻/時間、(iii) に対しては 36～45 隻/時間 という値が得られるが、いずれも同程度であって、航路の時間当りの交通容量は、40 隻/時間 前後であるとできるだろう。

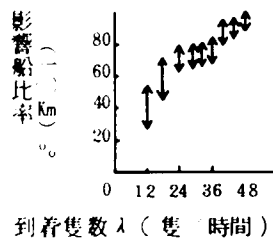


図 4-15 影響船舶比率

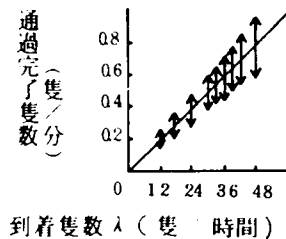


図 4-16 通過完了隻数と到着隻数

さて、システムの状態ベクトルの各要素は、前述したサービス水準規定項目に対応している。たとえば、(1)、(6) の項目は、遅延時間、侵入待ち時間、および異常減速ブロック数の関数となる。サービス水準に関する前述の定義は、操作的なものとはいえないが、ここで述べたシステムの状態ベクトルは、それを操作的なものにする 1 つの方法であろう。

また、外的基準 (ii)、(iii) についてみれば、それらはスカラー量で定義されており、その水準を設定すれば、容量が確定される。

このように、システム論的情報処理は、結果と前提との関係に関して再現性をもっている。このような意味で、本研究における方法は、合理的、科学的であるといえるが、第 1 章で述べた基準情報のカテゴリーについては、明確に分析されていないことに注意しなければならない。

以上の分析結果によれば、これらの外的基準は、システムの状態ベクトルの微係数最大、影響船舶比率 80%、および入力、出力の乖離が 20%、という水準で同一の容量を与えているが、これらの基準は、一応理論的なものであって、経験的な基準との関係等について検討する必要があることを付言しておかねばならない。

## (2) 横断船舶の影響の分析

本節の1の分析でも指摘したように、平面交差である航路では、横断船舶の増大は主航路の機能低下、ひいては機能停止を引き起こす。

瀬戸内海航路においては、神戸、大阪港を目的港、あるいは出発港とする主航路に、中国—四国間の日発定期船、フェリーおよび客船の航路が交差している。そしてその需要は、主航路はもちろん横断航路においてもますます増大する傾向にある。

本研究では、現状の約2倍の24隻/時間の主航路交通量の場合について、横断船舶の影響を分析する。ここで取り上げた時間当たり24隻の交通量は、その船種、船型構成にもよるが、(1)の分析結果により、現在の瀬戸内海航路の容量以内にあると考えられるものである。

主航路の通過完了船舶数と横断船舶数との関係は、シミュレーション結果より図4-17となる。横断船舶数が6隻/時間の場合は、主航路への到着隻数24隻/時間と通過完了船舶数は一致しており、その影響はない。しかしそれが12隻/時間になると通過完了隻数が、22隻/時間となり、横断船の影響があらわれる。18隻/時間ではシミュレーションシステムの待機船規約による横断船舶の到着停止が、2～3分程度のものが3回発生する。すなわち、主航路交通量が24隻/時間程度の場合は、横断航路の容量は9～12隻/時間程度と推定される。

現状の瀬戸内海航路では、横断船舶数は、平均すれば5隻/時間程度であるが、ピーク率を考慮すれば、航路交通容量の限界に近いものであると想像される。いま、海上交通は、臨海部の開発に伴い増加の一途をたどっている。特にポートアイランドの建設、大阪湾および瀬戸内海沿岸地域の大規模プロジェクトの進展に伴って、そこでの交通量は、飛躍的に増大することが予想される。一方、本—四架橋、新関西国際空港のように、航路の幅員、形状に直接関連するプロジェクトが計画されている。したがって、これらの状況の下で、必要な、航路容量がフィジカル（physical）に獲得できるかどうか大きな問題となってくる。このため、これら開発構想は、その補完的システムである航路の交通量という新たな観点から再検討を加える必要があることを指摘することができるであろう。

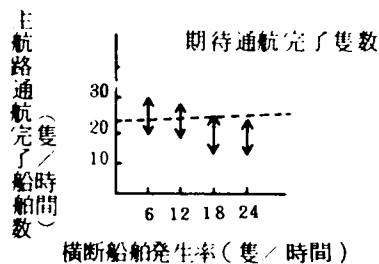


図 4-17 横断船舶の影響

## 第 6 節 結 言

著者は、本章において航路という海上輸送システムにおけるルートシステムの整備計画を事例として、計画情報処理の研究を行なった。輸送システム整備計画は、社会的計画の下位計画として位置付けられるが、システム性をその特徴とする現代社会にあっては、それは上位計画の実現のためには不可欠な、補完的プロジェクトとなってきた。特に本章の事例である航路システムの整備計画は、臨海地域を中心とするわが国の諸計画にあっては重要な補完的プロジェクトであるといえる。また、航路システムの整備は、船舶の衝突事故の急増という非常事態に直面している海上輸送システム自身の要件充足性という観点よりも、現実的に強く要請されている計画である。著者は、このような関係にある航路整備計画を補完的プロジェクトの計画として把握し、情報処理の目的は、上位計画より要請される要件の充足性と、補完的プロジェクトの実施に関連する制約の強さとの関係を、フィードバック情報として提供することにあるとした。

まず、第 2 節においては、船舶の航路通航行動に関する詳細な分析を行なうとともに、その構造化を行ない、第 3 節においては、この複雑な航路システムに関する情報システムとして、シミュレーションモデルを採用することとし、作業順序図を用いてその開発を行なった。

一般論的にいって、システム論的情報処理の特徴は、その操作性にある。しかし、第 2 章で述べたように、シミュレーションモデルは、より詳細な説明力という利点をもつが、操作性に難点がある。そこで、著者は、第 4 節において、実験計画法を導入した情報処理システムを提案した。そして、まず本情報処理が次のような構造をもつものであることを明らかにした。すなわち、

- (1)  $M \cdot K$ ・スターの計画モデル概念により、まず対象の目的論的構造化がなされる。
- (2) 次に、システムの一般理論の概念により、操作性をもつ論理モデル化がなされる。
- (3) そして、実験計画法の概念により、操作性と目的論性を備えた情報処理がなされる。

この構造化によって、システム論的な計画情報処理における概念の変化を明確にすることが可能となり、システム論的情報処理の合理性、科学性の真の意味を把握する重要な手掛となることを示唆した。次に、本モデルのパリイフィケーションとして 9 つの要因を選択し、直交表  $L_{16}^{15}$  を用い、その主効果、交互作用効果の推定を行ない、本シミュレーションモデルが安定した情報システムであることを確認した。なお、要因効果の大きさは、その要因に要請される情報の高さを意味し、事実対応性、あるいは実行可能性に関する許容水準の客観的設定にとって、重要な情報となることを指摘した。また、効果の絶対値のみでなく、要因効果図のパターンも重要な情報であることを明らかにした。

第 5 節においては、まず、航路整備計画の実施計画の 1 つである、ソフトな航路通航規制の効果、潮流、および横断船舶数の影響を、直交表  $L_9^4$  による一連のシミュレーションより分析した。そして、船速による分離規制の効果が最も大きいこと、潮流、横断船舶数の影響度がかなり予想されることを示

した。また、この例より判るように、実験計画法の導入が、非常に高い情報獲得効率をもたらすことを示唆した。

次に著者は、補完的プロジェクトとしてのフィードバック情報として、主航路、ならびに横断航路の交通容量の推定を行なった。その結果は、

(i) 幅員 600 m の主航路に、6 隻/時間の交通量をもつ幅員 700 m の横断航路が、直角に交差している場合、主航路の交通容量は、40 隻/時間程度と推定される。

(ii) 同様の航路で、主航路の交通量を 24 隻/時間とした場合、横断航路の交通量は、10 隻/時間程度と推定される。

これらの値は、来島中水道、備讃瀬戸北水道における実測値、および混雑感よりみて妥当なものといえる。

最後に、本章における研究を通じて、著者は、瀬戸内海地域の種々の開発構想は、航路という補完的システムの容量という観点より、その斉合性が検討されねばならないことを強く感じたことを付記しておきたい。

#### 第4章 参考文献

- 1) 木俣 昇, 石崎肇士 “シミュレーションによる航路計画の研究” 土木学会論文報告集 194 (1971) pp. 113 ~ 126
- 2) N. Kimata, H. Ishizaki “Simulation Study on Channel Planning” Trans. of JSCE, 3 (1971), pp. 226 ~ 227
- 3) 木俣 昇 “補完的計画とシステム分析に関する一考察” 土木学会関西支部年次学術講演会 (1971)
- 4) 木俣 昇 “瀬戸内海沿岸地域の計画に関する補完的機能システムよりの一考察” 第25回土木学会年次学術講演会 (1971)
- 5) 藤井弥平, 田中健一 “海上交通工学序説” 船舶 42
- 6) (1) 運輸省第3港湾建設局 「来島海峡通航船舶航路調査報告書」 (1976)  
(2) ” 「備讃瀬戸通航船舶航路調査報告書」 (1968)
- 7) 長尾義三 「港湾工学」 共立出版 (1969)
- 8) 運輸省第四港湾建設局 「関門航路における船舶交通容量に関する研究」 (1968)
- 9) 前 掲 5)
- 10) 前 掲 8)
- 11) 運輸省第三港湾建設局 「瀬戸内海航路の余裕水深と航路幅員に関する調査報告書」 (1964)



- 12) 前 掲 11)
- 13) 前 掲 5)
- 14) (1) 藤井弥平, 他 “船舶の閉塞領域について” 日本航海学会 35 (1966) pp. 71 ~ 76  
 (2) 藤井弥平, 他 “中型船舶の閉塞領域について” 日本航海学会誌 38 (1967) pp. 15 ~ 20
- 15) 谷 初蔵 “Crash - Astern 操作の停止距離におよぼす船の旋回の影響” 日本航海学会誌 33 (1965)
- 16) 前 掲 5)
- 17) 前 掲 14)
- 18) 前 掲 6)
- 19) 前 掲 5)
- 20) 田口玄一 「実験計画法」 丸善 (1972)
- 21) M. K. Starr “Planning Models” M. S., 13 (1966), pp. 115 ~ 141
- 22) オスカー・ランゲ 「システムの一般理論」 合同出版 (1969)

## 第5章 輸送システム整備計画における 許容化原理に関する研究<sup>1), 2)</sup>

### 第1節 緒 言

著者は、第3章、第4章において、海上輸送システムのターミナルシステムである港湾と、ルートシステムである航路の整備計画を具体的事例とし、輸送システム整備計画における最大化原理、ならびに実施計画レベルにおける情報処理システムについて研究した。本章では、高度にシステム化された高感度社会における重要な輸送システムである航空輸送システムを対象とし、その整備計画における情報処理システムに関する研究を試みることにする。

さて、航空輸送システム整備計画には、次のような3つの課題がその背景としてある。第1は、高度に情報化された社会生活を背景に、航空輸送需要の爆発的な増大にともなう空港容量増という要求である<sup>3)</sup>。第2は、第1の問題との関係でもたらされた航空機の巨大化、高速化にともなう航空機騒音被害という巨大な逆機能の顕在化による生活環境の破壊という深刻な社会問題の発生である<sup>4)</sup>。第3は、これも第1の問題と関係するものであるが、ターミナル空域における航空交通量の増大にともなうニアミス<sup>5)</sup>（異常接近）の急増という航空輸送の安全性に直接かかわる重大な問題の発生である。

ところが、空港容量と航空機騒音被害とは、基本的には、一方を増大すれば、他方も増大するという意味で、直接関係し、相反するものであるといえる。さらに、第1章で述べた主体間のカテゴリ化を行えば、航空輸送システム整備計画の便益を受ける側（需要者）と被害を受ける側（空港周辺住民）とでは、重合する部分が非常に少ないことが判る。このことより、航空輸送システム整備計画が、計画主体間の鋭い対立を背景にもち、空港容量の増大と航空機騒音被害の減少という相反する困難な目標をもたねばならないことが判る。さらにこれに、第3の課題が加わり、航空輸送システム整備計画は、3つの複合した目的をもつことになる。

このような状況の計画にあつてまず第1に必要なことは、第1章で指摘したように、対立する両主体のそれぞれの要件に関する認知情報システムを開発することである。そして、両者の要件よりみて、その計画案が許容適合性をもつかどうか、許容適合性の条件は何かを対立する計画主体に提示し、両者の調整（*Coordination*）の可能性に関する合理的、科学的判断の基盤を提供することである。

著者は、まず第2節において、航空輸送システム自身の要件でもある課題3を達成する手段として、複数航路型航空交通管制方式という現代の技術レベルで実行可能な広域管制方式（*Extended Control System*）を提案する。そして、第3節において、そのシミュレーションモデルの開発を試みる。このモデルは、著者が提案した航空交通管制方式の実行可能性を検討するための認知情報システムであると同時に、第1の課題である空港容量増に関する認知情報システムでもある。

第4節においては、第2の課題である航空機騒音被害を評価する情報として、予測航空機騒音被害（*Noise Exposure Forecast*）レベルに関する情報システムを、前述のシミュレーションモデルを基礎にして開発する。そして、第5節において、第1章で述べた許容化原理に従って、複合目的をもつ航空輸送システム整備計画の許容適合性に関する考察を行なうことにする。

## 第2節 複数航路型航空交通管制方式による広域管制システムの構造

前述したように、航空輸送システム整備計画にはいろいろな課題がある。中でも航空需要の爆発的増大、航空機の巨大化、高速化を背景とする、ターミナル空域での航空機相互の異常接近という危険な事態は、輸送の安全性というシステム自身の要件に直接かかわるものであって、その早急な解決が、重要な課題となってきた。本節では、まず空港周辺空域におけるターミナル管制と航空機の動態について考察し、その1つの解決策として複数航路型管制方式による広域管制システム（*Extended Control System*）について述べることにする。

### 1. 空港ターミナル管制と航空機動態

航空輸送システムは、図5-1に示すような構造をもっている。ターミナル管制圏は、空港を中

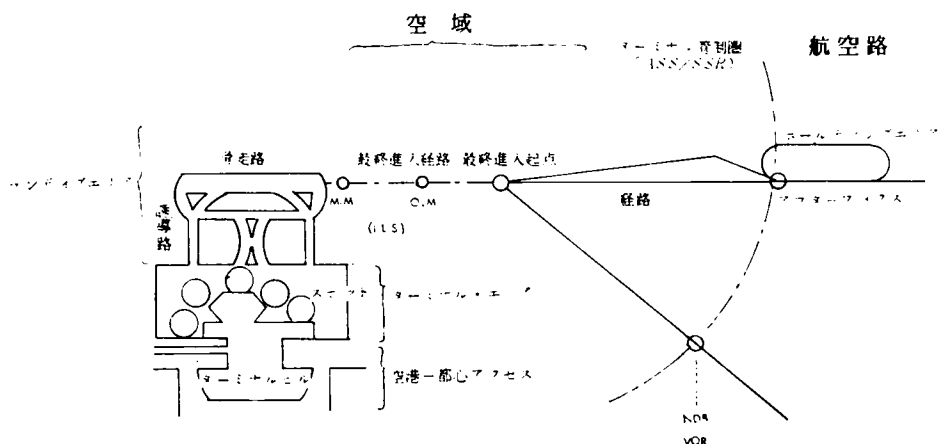


図5-1 航空輸送システムの構造

心とする60カイリの<sup>6)</sup> ASR/SSR のレーダ網で覆われた空域であり、他空港よりの航空機の到着進入点 (Outer fixes), 待機地点 (Holding fixes), 着陸態勢に入る最終進入起点 (Gate of final approach) 等の各固定点 (Fixes) が, NDB, VOR, DME, TACAN 等の航行援助施設によって設定されている。

大阪, 東京両空港の管制圏における飛行経路, 固定点および航行援助施設の配置は, 図5-2,

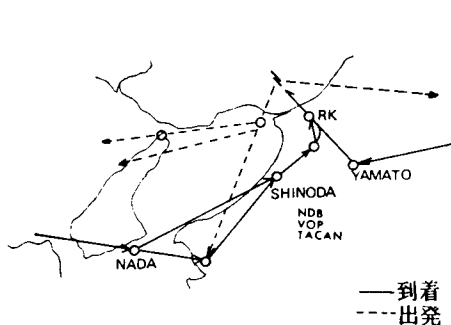


図5-2 大阪国際空港ターミナル管制圏

図5-3 のようになっている。これらの図をみて明らかなように, 出発経路空域と, 到着経路空域は一般に分離されており, 出発経路は, 本研究にとっていわゆる周辺要素となる。それは, 航空交通では, 着陸機に優先権が与えられていること, 到着経路と出発経路が分離されていること, さらに離陸機にとっては, 滑走路が第一のボトル・ネックとなっていること等々により, 出発経路が直接には本研究の対象とするシステムに影響をおよぼさないからである。もちろん, 滑走路本数が増し, 同時離陸が起る場合には問題となってくることはいうまでもない。

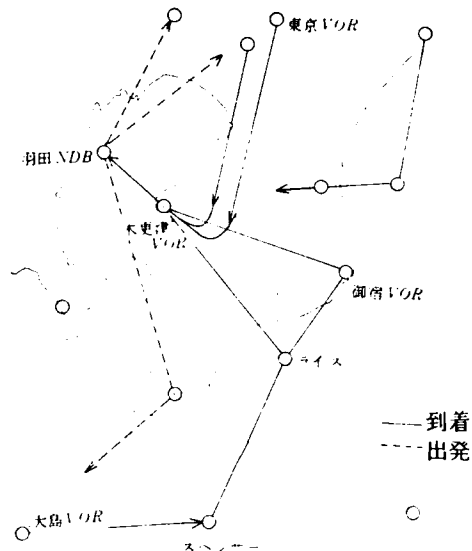


図5-3 東京国際空港ターミナル管制圏

さて, 航空交通規則は大きく VFR (Visible Flight Rule) と IFR (Instrumental Flight Rule) とに分類される。VFR 運行とは, 飛行視程5マイル, 雲高1500 フィート以上の気象条件の場合において許可される飛行形態であり, これ以下の気象条件になると航空交通は航空規則により, IFR 運航に制限される (有視界飛行規則)<sup>7)</sup>

しかし, 電子器機を中心とする航空機ならびに, 航行援助施設に関する技術革新の飛躍的進展は, 上述のように, 従来においては, 悪天候対策の補助的なものであった IFR を, 一転してより積極的な, 高度な航空交通管制 (ATC) の有力な手段とならしめた。そして, 航空交通量の増大, 航空機の巨大化, 高速化を背景とし, 現在では, 国際空港級のターミナル管制には, 天候に関係なく

IFR にのみに限定する *Positive Control* が採用されようとしている。わが国においても、大阪国際空港は、図 5-4 に示すような、パリのオルリー空港に次ぐ世界で 2 番目に大きな *Positive Control* 圏をとっている。大阪空港の場合には、図 5-4 に示す斜線部の空域を飛行する航空機は、全て IFR で飛行することが義務づけられ、*ILS* 等の機材を搭載していない小型機は、八尾空港で離着陸するようになっている。しかし、一般空港では、小型機の取り扱いが難しく、結局、管制を受ける *VFR* をも認める広域管制システム (*Extended Control System*) の実施が必要となる。ここで、現実の問題としては、小型機に関してまだ技術的にも、経済的にもその実現に若干の問題が残されていることを指摘しておきたい。

次に、ターミナル管制圏における航空機の動態と、航空交通管制について説明することとする。他空港を出発した航空機は、航空路 (*Air way*) 上で他機とのセパレーションを確保するため、航空路管制を受けつつ目的空港のターミナル管制圏のアウトフィックス

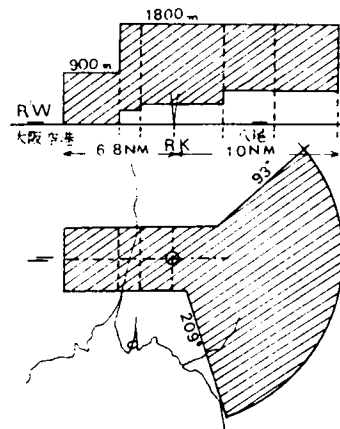


図 5-4 大阪特別管制区

クスに到着する。ここで航空機管制業務は、航空路管制室よりターミナル管制室に引きつがれる。

管制塔の IFR 室は、5つの管制席があり、到着機、出発機のターミナル管制圏における誘導および航空路管制機関との移管業務を行なっている。

アウトフィックスへの到着機は、まず入域管制席で 2 次レーダー (*SSR*) によるレーダー識別の確認、他関連航空交通との管制間隔、進入方法、待機の決定、および進入許可を得る。到着機は、次に経路管制席で、管制空域内の先行機、後続機との管制間隔の確保、最終進入起点までの監視、誘導を受ける。進入できない場合、あるいは管制間隔が確保できない場合には、指定された待機地点で図 5-5 に示すような方式にしたがって旋回飛行し待機するか、あるいは、*ATS* 経路を飛行しなければならない。

最終進入起点に到着した航空機は、着陸管制席による *PAR* 業務に従って、*ILS* 搭載機は、*ILS* によって滑走路の接地点までの距離、規定降下角度、および進入コースからのずれ等の情報を受ける。*ILS* を搭載していない機に対しては、*PAR* 業務により滑走路の中心延長線に対しての針路修正角度と高度修正の情報が刻々送られ、安全着陸に誘導される。着陸した機は、滑走路より誘導路を経て、スポットに入り、貨客の乗降、給油および整備を行ない出発を待つ。

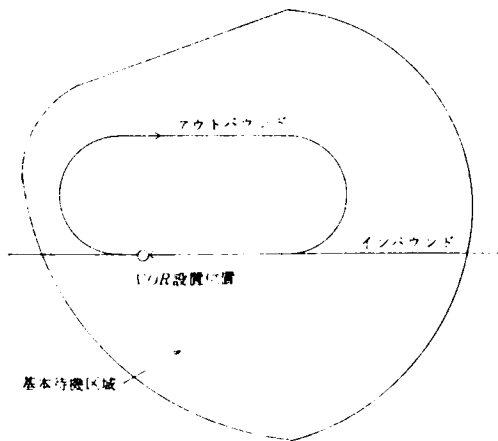


図5-5 基本待機方式

出発機は管制官に通知し、スポット出発許可を受け、誘導路を通ってホールディングエプロンに行く。滑走路が離着陸混合使用の場合には、着陸機に優先権が与えられているから、出発機は、着陸機との安全確認を受けた後、離陸許可を受け離陸する。

出発機は離陸直後、管制塔から出域管制席に引き継がれ、そこでレーダー識別を受け、巡航高度への上昇飛行の誘導を受ける。

もう1つの連絡調整席は、レーダーに

よらない ILS 方式による管制、ならびに IFR 室の管制相互間および他の管制機関との連絡調整を行なう。

これら航空交通業務は、「航空業務方式－航空機の運航」(PANS-ORS)<sup>8)</sup>として法的に規定されている。

## 2. 複数航路型航空交通管制方式の概要

さて、現在、国際空港周辺の空域では、航空機相互の異常接近という事態の発生が多数報告されている。その解決策として、前述の *Extended*、あるいは *Positive Control System* の導入が強く要請されている。著者は、その具体的方法として、現在の技術レベルで実行可能な複数航路型の航空交通管制方式という考え方を提案する。

航空交通管制の基本は、「管制間隔の物理的確保」にある。航空交通管制でいう間隔には垂直間隔と水平間隔とがあり、さらに水平間隔には縦間隔、横間隔がある。航路型ターミナル管制について考察する場合には管制圏内の各経路は、それら相互の横間隔および垂直間隔が確保されるように設定されているので、縦間隔の確保が最重要事項となる。

現在この縦間隔はレーダーによる管制では3マイルが最小であるとされている。<sup>9)</sup>航空交通管制の特徴は、すべての航空機飛行経路は最終進入起点で1個所に収れんするということ、また最終進入起点を通過して着陸態勢に入った航空機は着陸速度に減速して最終進入経路を飛行するため、航空力学上その間隔制御は困難であるということの2点である。従って、最終進入経路上において他機とのセパレーションが確保されるように、すべての航空機の最終進入起点までの飛行を管制する必要がある。

最終進入経路上での航空機<sup>10)</sup>の速度すなわち着陸速度は航空機の失速度の1.3倍以上といわれており、当然航空機の機種、大きさ、性能によって異なる。従って、先行機がレシプロ機またはターボプロップ機で遅く、後続機がジェットで速い場合には最終進入経路上で3マイルのセパレーションを確保できない事態が発生する。このような現象は当然最終進入経路の長さ、利用航空機の着陸速度差によって異なってくるので経路が長ければ長いほど、また速度差が大きいほど、最終進入起点での航空機相互のセパレーションは大きくしなければならない。従って、容量の面からは、この長さは短い方が望ましい。しかし一万この長さは経路を飛行中の航空機が着陸態勢を整えるのに十分だけは最小限必要である。現在、その値は6マイルであるといわれている。大阪国際空港の場合には、6.8マイルとなっている。

このようにみえてくると、最終進入経路上での航空機相互の縦間隔を確保することができるよう、最終進入起点に到着するまでの航空機に必要な制御を行なうことが、着陸航空交通管制といえる。

いま、図5-6のようにアウターフィックスと最終進入起点が1本の経路で結ばれているとする。先行機と後続機のセパレーションが確保できず、遅延を起す必要性が生じたような場合、後続機は最終進入起点、アウターフィックスあるいは適当な旋回地点で旋回し、待機しなければならない。待機方式には、標準タイプ、L-タイプ、U-タイプ等のSingle stack system、あるいはDual stack system等が考えられているが、いずれにしても図5-5のアウトバウンドにおける時間調節は、1分あるいは1分30秒が適当とされているので、それに旋回時間を加えると、1回の

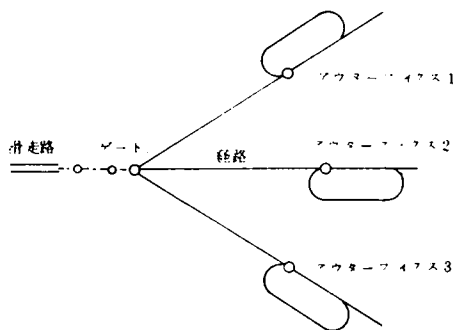


図5-6 航路型ターミナル管制図

旋回に要する時間は3~4分となる。いま、最終進入経路長を6マイルとし、レシプロ機の着陸速度を120mph、ジェット機のそれを150mphとすれば、着陸時に後続機とのセパレーション3マイルを<sup>12)</sup>確保するためには、もし先行機がレシプロ機で後続機がジェット機の場合、最終進入起点で約2分のセパレーションが必要ということになる。すなわち、最終進入起点でセパレーションが確保できない場合でも、後続機の遅延は1~2分で十分であることが多い。

著者は、そこでアウターフィックスから最終進入起点へ至る経路を図5-7のように常周経路を中心に複数個配置し、各経路の所要時間差で後続航空機の遅延を調節する複数航路型のターミナル管制方式を提案する。

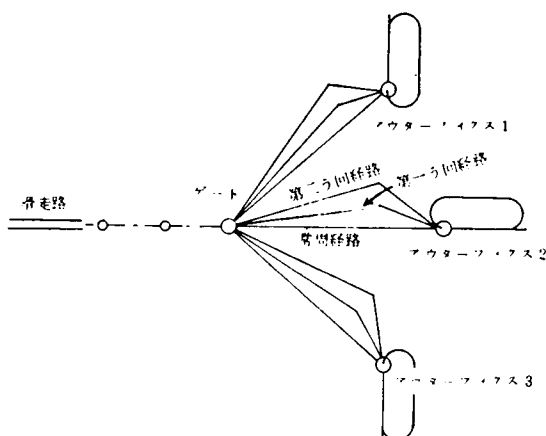


図5-7 複数航路型ターミナル管制圏

つあるので、複数航路型航空交通管制方式の採用は十分可能となりつつある。たとえば、そのような補助システムとして米航空局では、コンピューターを使った新しい自動航空管制システム「ARTS III」を開発、シカゴのオヘア国際空港に設置し、運用を開始している。また、現在すでに、東京、大阪両国際空港においては、複数航路型航空交通管制方式に似た航空交通管制方式が採用されているといわれている。

次節において、著者はこの新しい管制方式による航空機の動態のシミュレーションモデルを作成することにする。

### 第3節 航空輸送システムのシミュレーションモデル

第1節で述べたように、航空輸送システム整備計画の1つの目的に、輸送力の増強がある。これには、空港の新設を始めとし、滑走路（ $R/W$ ）の増設、誘導路（ $T/W$ ）の改良、航空管制システム（ $ATC$ ）の改良、航行援助施設の整備等の数多くの計画手段がある。その中でも、 $ATC$ は、ホロンジェフが指摘したように、<sup>13)</sup> 航空機相互の衝突事故ならびに巨大な逆機能の顕在化が懸念される現在、もっともクリティカルな要素となってきた。第2節で著者が提案した広域航空管制方式は、この意味で重要であるとともに、空港容量の増大をもたらす手段としても期待されるものである。

本節においては、航空輸送システムの容量に関する認知情報システムとして、この新しい管制方式を

これらの経路の実効的な設定には、現在の航行援助施設を  $VOR$ 、 $DME$  等へ更新すること、さらにそれらを追加新設することが必要である。この場合当然のことながら経路間の横間隔は相互に確保されていなければならないが、管制官にも、高速度で航行する航空機相互の管制間隔についてきびしい監視が要求される。そのため管制の補助システムとして高精度のレーダーの整備と管制の情報処理の自動化が必須となってくるであろう。

現在、これら諸条件は徐々に整備されつ



も含む形で、航空輸送システムの空港を中心とするシミュレーションモデルの開発を試みる。

さて、第2章でも述べたように、航空輸送システムも非同期性をもつ。これは、明らかに高速性をその第1の特徴とする航空輸送システムの顕在的機能を阻害する直接的要因であるとともに、その安全性とも密接に関係するものである。そこでまず、航空輸送システムの待ち構造を明らかにしておく。

すなわち、その特徴は

- (i) 客としては、速度の異なるジェット、レシプロ機の2種類が考えられる。
  - (ii) システムの構造は、図5-8に示すようにアウターフィックス、ゲート、滑走路、スポットという窓口が、経路、最終進入経路、および誘導路によって直列に結ばれている、多段直列形システムとなっている。
  - (iii) 物理的、経済的理由より、ホールディングポイント、ホールディングエプロンは、有限長であり、有限待ち合せ系である。
  - (iv) アウターフィックスへの航空機の到着は、一般にポアソン分布に従うと考えられる。
  - (v) 滑走路では、安全確保のために、着陸機に優先権(Priority)が認められている。
- の5点に要約される。

著者は、このような複雑な構造をもつ航空輸送システムに対して、GPSSの基本概念を用いて整理し、可変時間増分法によるシミュレーションモデルの開発を試みることにする。

#### 1. 着陸機管制システムのモデル化

第2節で述べたように、アウターフィックスにランダムに到着した着陸機は、航空交通管制システムの指示に従って、ホールディング、あるいは指示された経路を経て最終進入起点に到着し、着陸態勢に入る。この場合、最終進入起点(ゲート)より滑走路に至る最終進入経路上では、航空機の制御は航空工学的に困難であるため、航空交通管制システムは、アウターフィックスにおいて全進入機の見終進入経路上での安全間隔が確保されていることを確認した上で、進入許可、および経路の指示を出さなければならない。広域管制方式による着陸機の管制は、ま

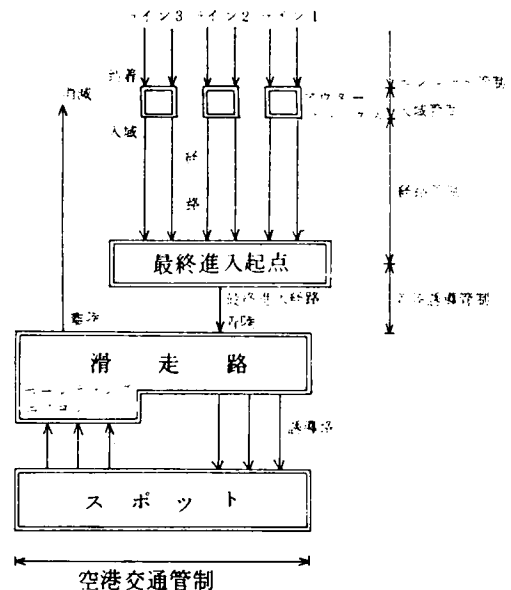


図5-8 ターミナル管制の待ち合せ構造

ず、ゲートへの最早到着予定時間をもつアウトフィックスへの到着機を選ぶ。そして、この航空機に対して、図5-7の経路を順次指定し、既にターミナル空域に進入許可されたすべての先行機との安全間隔が、経路飛行時、およびゲート通過時に確保されているかを検討する。これらが確認されると、この航空機は、ターミナル空域への進入が許可され、指定された経路を通してゲートまで飛行し、着陸態勢に入る。他の場合はホールディングすることになる。

さて、滑走路上では、着陸機に優先権が認められているため、着陸機の管制には、先行着陸機との安全間隔の検討のみを行えばよい。先行機、後続機の機種を  $I, J$  とすれば、この安全間隔は、 $SAFEA(I, J)$  とかけられ、最終進入起点（ゲート）から滑走路までの距離、航空機の着陸速度、滑走路および誘導路の配置、 $ILS$  等の施設の有無、有効離脱空域の有無、管制官の能力等々に規定される。<sup>14)</sup> 本研究においては、前述したレーダ間隔3マイルを最小安全間隔とし、着陸速度、ゲートより滑走路までの距離を所与とし、ゲート通過時の最小安全間隔  $SAFEA(I, J)$  を理論的に求めることにした。

## 2. 離陸機管制システムのモデル化

前述したように、滑走路上では安全性のために、着陸機に優先権が認められている。従って、離陸機については、図5-9に示す3種類の安全間隔、すなわち、(2) 先行着陸機 ( $D/A$ )、(3) 後続着陸機 ( $A/D$ )、および (4) 先行離陸機 ( $D/D$ ) 間の安全間隔が確認されて始めて、離陸が許可されることになる。

$A/D$  間、 $D/D$  間の安全間隔は、（先行機の滑走路占有時間 +  $\alpha$ ）であると考えられる。

$D/A$  間の安全間隔は、 $A/A$  間の安全間隔と同様に、離陸機種、着陸機種によって異なり、

$SAFED(I, J)$  と記される。<sup>15)</sup> 本研究では、 $AIL$  の調査結果にもとづき、これらの安全間隔の設定を行なうことにする。

## 3. 滑走路配置と運用方法

滑走路の配置は、図5-10に示すように種々のものがある。ここで重要なことは、滑走路が複数個ある場合、

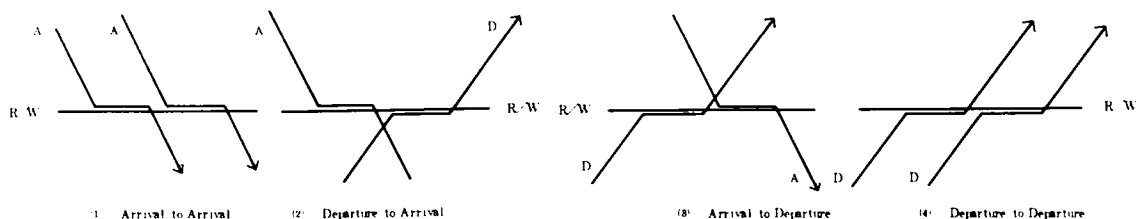


図5-9 最小安全間隔

- (1) 滑走路の間隔が、4500フィート（約1350 m）以上あれば、独立使用が可能である。
  - (2) 滑走路の間隔が、3000フィート（約900 m）以上あれば、離着陸が独立にできる。<sup>17)</sup>
- ということである。

本研究では、図5-11に示すような6ケースの配置、運用形の場合についてモデル化することにする。

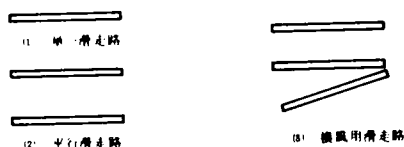


図5-10 滑走路の配置形態

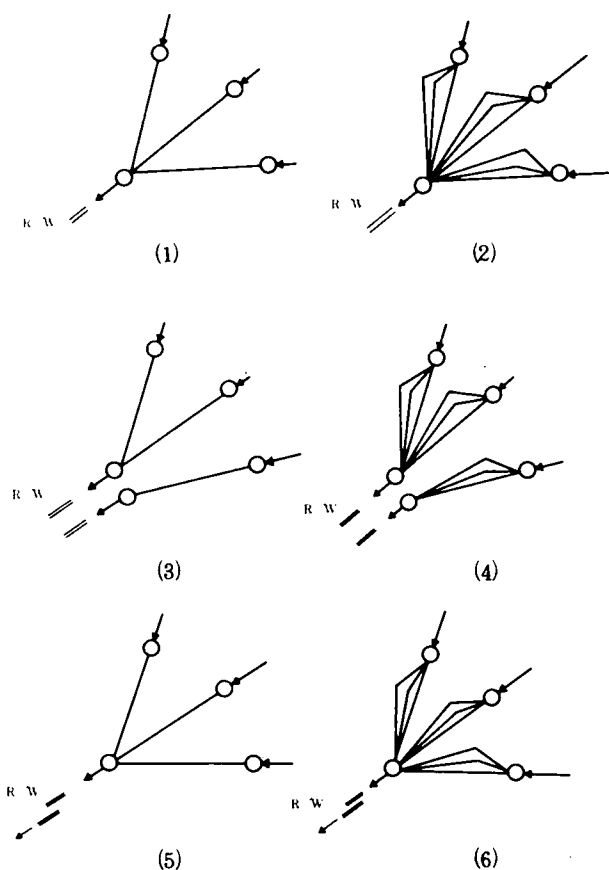


図5-11 空港ターミナルシステムの構造

#### 4. シミュレーションモデルの構造

本シミュレーションモデルは、図5-12に示すようにGPSS形の可変時間増分法を採用している。プログラムは、FORTRANでなされ、KUNIRN<sup>18)</sup>( $R, IR, K$ )を擬似一様乱数として使用している。1日分(15時間)のシミュレーション所要時間は、FACOM-230-60で4~5分である。

入力データは、表5-1に示されているが、要素分類の項に示したように、その規定要因には物理的なもの、社会的なもの、人的なもの等々が含まれていることが判る。また、1つの要素を変更すれば、他の要素にも影響があることも判る。表5-1は、モデルのバリフィケーションにとって、基本的な情報を与えるものといえよう。

出力情報としては、著者が提案した複数航路型の広域管制システムの実行可能性、要件充足性をも検討できるように、ある時刻におけるシステム内部の状態というストラータをも出力できるようにした。

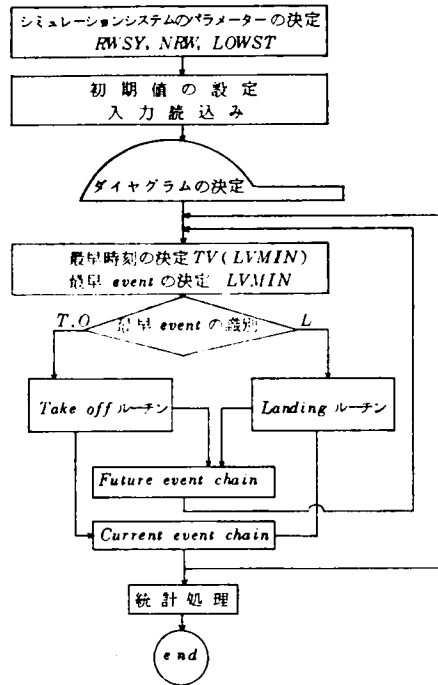


図 5-12 シミュレーションシステムのブロック・ダイアグラム

表 5-1 シミュレーション入力とその特性

変数名	次元	内 容	要素分類	
RWSYS (I)	4	滑走路本数と使用形態	計画手段 地勢的制約	滑走路運用形態
NRW (I)	3	ライン別使用滑走路名	計画手段 ATC の制約	
LOWST (I)	3	ライン別使用ゲート名	計画手段 ATC の制約	
ROUTL (I)	3	ライン別経路本数	計画手段 ATC の制約	空域、およびラン
TROOT (I, J, K)	3, 2, 3	経路所要時間 { I: 経路	環境要素	ディングエリア、構造
HANIP (I, J, K)	3, 2, 3	同航路範囲 (→) J: 機種		
HANIM (I, J, K)	3, 2, 3	" (←) K: ライン		
RTLR (I, →)	2	機種別最終進入経路所要時間	環境要素 確率変数	
SERRW (I, J, →)	2, 2	滑走路占有時間 { I: 離着陸別	"	
RTRWS (→, J)	2	機種別滑走路ースポット所要時間	"	
SMIN (I)	3	路線別使用スポット番号	計画手段	
SMAX (I)	3			
SERSP (I, →)	2	機種別スポットサービス時間	確率変数	
SAFEA (I, J)	2, 2	着陸時最小安全間隔	管制能力、空域、最終進入経路長	管制 (ATC)
SAFED (I, J)	2, 2	離陸時最小安全間隔 { I: 先行機種	着陸速度、RW-TW システム	
		J: 後続機種		
KLIN (I)	3	ライン別到着機数の比率	環境要素	離陸形態
KROS (I)	3	ライン別路線構成比率	航空輸送構造	
JORP (J)	4	路線別機種別構成比率		
WAIVE (T)	15	時間帯別到着パターン		
EVELA		到着数レベル		
		EVELA・WAIVE(T): 到着機数		

## 第4節 航空機騒音被害の予測情報システムの作成

著者は、本章第2節、第3節において、航空交通の安全性の確保、空港容量の増大という需要者側に直接的に関連する要件充足性を目的とする構想として、複数航路型航空交通管制方式による広域管制システムを提案するとともに、その認知情報システムとしてシミュレーションモデルの開発を行なってきた。しかし、この構想は、航空機騒音被害の減少という空港周辺地域の住民側の要件とは鋭く対立するものである。第1節で述べたように、航空輸送システム整備計画においては、この対立する目標をいかに達成するかが、今日の課題となっている。

第1章で述べたように、計画主体間に鋭い対立が存在する計画の情報処理の合理性、科学性の必要条件の1つとして要請されるものに、対立する要件それぞれに関する認知情報システムの開発がある。

前述したように、需要者側の要件充足性に関する認知情報システムの開発は終わったので、次に空港周辺地域住民の要件である航空機騒音被害の減少に関する認知情報システムの開発を行なうことにする。

### 1. NEF (Noise Exposure Forecast) レベル

航空機は、図5-7の飛行経路下を中心とする広範な地域に、騒音被害をもたらす。人間への航空機騒音の影響は、1機当りの物理的騒音のみならず、運航時間帯、運航度数等の関数となる。著者は、その1つのモデル化として、まず R.L. ボーリンの NEF モデル<sup>19)</sup>について説明しておく。

まず、滑走路 (R/W) 近傍での航空機の離着陸経路は、図5-13のようにモデル化される。航空機は、この経路下の地点を中心に、機種、航続距離、地上までの距離の関数であるあるレベルの騒音被害を与える。航空機よりもたらされる客観的、物理的騒音度は、EPNL (Effective Perceived Noise Level) で測られる。

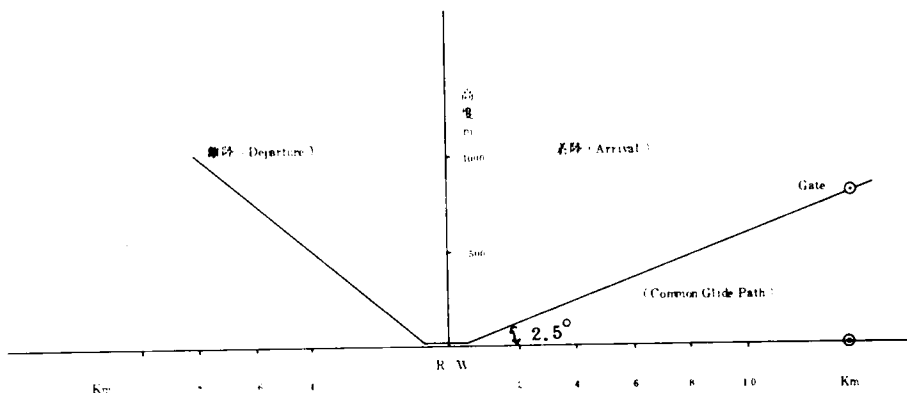


図5-13 滑走路周辺の空域構造

今、ある地点での予測航空機騒音被害レベルを  $NEF$  とかけば、この値は次のように求められることが示されている。

まず、次のような変数を定義する。すなわち、

$EPNL(I, J)$  ; 経路  $J$  を飛行するクラス  $I$  の航空機 1 機が、その地点に与える客観的反応としての騒音度

$N_{day}(I, J)$  ; 昼間に、経路  $J$  を飛行するクラス  $I$  の航空機数の平均値

$N_{night}(I, J)$  ; 夜間に、経路  $J$  を飛行するクラス  $I$  の航空機数の平均値

$NEF(I, J)$  ; 経路  $J$  を飛行するクラス  $I$  の全航空機が、その地点に与える予測航空機騒音被害レベル ( $dB$ )

そうすれば、

$$NEF(I, J) = EPNL(I, J) + 10 \log \{ N_{day}(I, J) + 16.67 N_{night}(I, J) \} - 88 \quad (5-1)$$

となるとされている。

この式より、その地点の全予測航空機騒音被害レベルは、

$$NEF = 10 \log \left\{ \sum_{I, J} \text{anti log} \left\{ NEF(I, J) / 10 \right\} \right\} \quad (5-2)$$

と求められる。

また、わが国においても運輸省、航空公害防止協会が、 $FAA$  の基礎騒音データより、 $ECPNL$ <sup>20)</sup> という測度による騒音被害のコンター作成システムを開発している。そこでは、前述の式 (5-1)、式 (5-2) に対応する関係式として、

$$TNEL(I, J) = EPNL(I, J) + 10 \log N(I, J) + 10 \quad (5-3)$$

$$TNEL = 10 \log \left\{ \sum_{I, J} \text{anti log } TNEL(I, J) \right\} \quad (5-4)$$

が使用されている。今、運航時間を 24 時間とすると、1 秒当りの騒音被害レベル  $ECPNL$  は、この  $TNEL$  値を用いて、

$$\begin{aligned}
 ECPNL &= TNEL - \log (24 \times 60 \times 60) \\
 &= TNEL - 49.4
 \end{aligned}
 \tag{5-5}$$

となる。ただし、 $N(I, J)$  は、経路  $J$  を飛行するクラス  $I$  の航空機の 1 日の平均数である。  
 今、運航機数を

$$N_{day}(I, J) = 0.6 N(I, J), \quad N_{night}(I, J) = 0.4 N(I, J)$$

とすれば、 $TNEL$ 、 $ECPNL$  と前述の  $NEF$  との間には、

$$TNEL = NEF + 90 \tag{5-6}$$

$$ECPNL = NEF + 40 \tag{5-7}$$

という関係が成立することが判る。

著者は、本研究では、 $NEF$  レベルを使用することにする。

## 2. 空港周辺地域の予測航空機騒音被害レベルの推定システム

1. で述べたように、ある地点の予測航空機騒音被害レベルは、 $EPNL(I, J)$ 、 $N_{day}(I, J)$ 、 $N_{night}(I, J)$ 、ならびに飛行経路の構造によって決定される。

$NEF$  の 80% を規定する  $EPNL(I, J)$  は、離着陸の別、地上までの距離によって変化する。

図 5-14 は、FAA の調査による離着陸別、高度別の  $EPNL$  値である。地上までの距離、高度は、着陸機の場合には、進入角がほぼ  $2.5^\circ$  であるから理論的に求められるが、離陸機の場合には、機種、航続距離の関数となる。図 5-15 は、FAA の調査によるクラス別離陸経路図である。航空機のクラスは、表 5-2 に与えられている。

図 5-14、図 5-15、および表 5-2 より、地点別、航続距離別  $EPNL(I, J)$  を求めることが可能となるが、本研究では表 5-3 のように設定した。地点は、着陸経路下に 6 点、離陸経路下に 6 点を選定した。

これらの地点における予測騒音被害レベルは、前節のシミュレーションモデルからの出力統計より、 $N_{day}(I, J)$ 、 $N_{night}(I, J)$  を

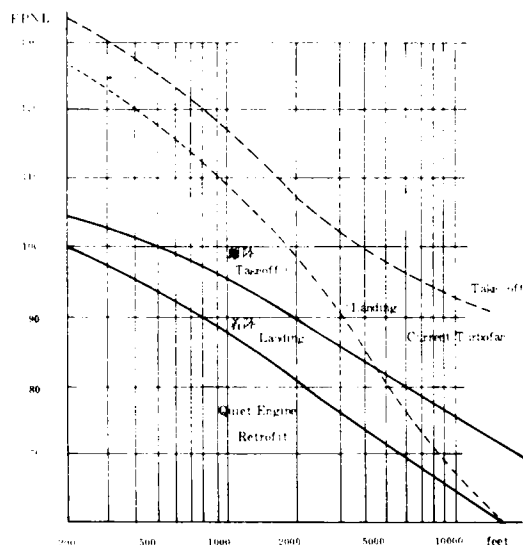


図 5-14 FAA 基礎騒音資料

求め、図5-16 のようにして求められる。

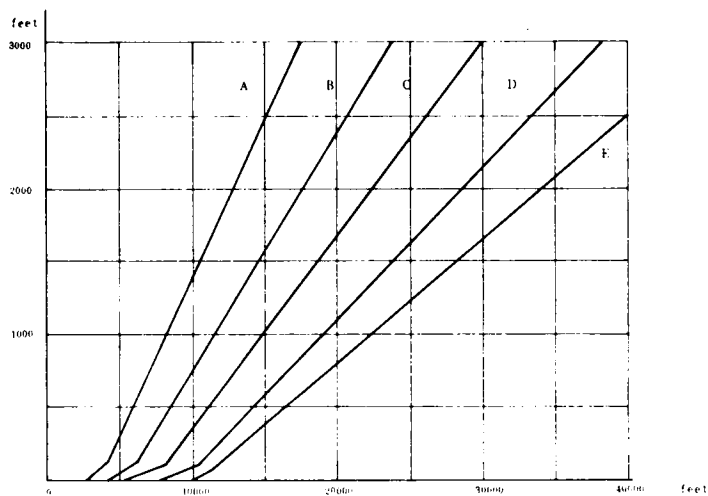


図5-15 航空機のタイプと飛行高度

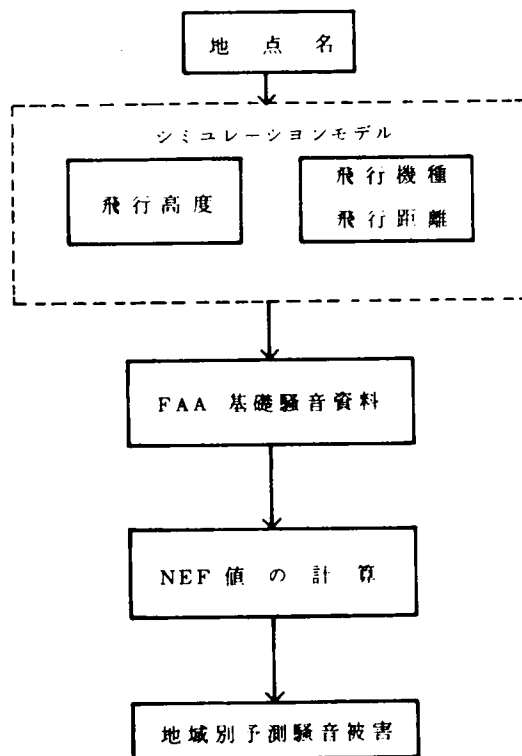


図5-16 予測航空機騒音被害に関する情報システム



表 5-2 機種別，航続距離別航空機クラス

航空機タイプ	機種の例	航 続 距 離 (N.Miles)						
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
		0～ 500	500～ 1000	1000～ 1500	1500～ 2500	2500～ 3500	3500～ 4500	4500～
大型 4-Eターボジェット	B-707-120, DC-8-10 C-880	A	B	B	C	D	E	E
大型 4-Eターボファン	B-707-320 DC-8-50	B	B	B	B	C	D	E
3 E-ターボファン	B-727-100	B	C	C	D	D		
3 E-ターボファン	B-727-200	B	C	D	D	D		
2 E-ターボファン	B-737 DC-9	B	B	B	B			
大型新 4-E ターボファン	B-747	B	B	B	B	C	D	E
大型新 3-E ターボファン	DC-10 L-1011	B	C	C	D	D		
一般ターボジェット				B				

表 5-3 航空機タイプ別，地点別 ECPNL (I, J)

(1) B-707, DC-8, CV-880 (離陸時)

地点 航続距離	1	2	3	4	5	6
1	105	101	98	96	94	93
2	109	104	102	99	97	95
3	109	104	102	99	97	95
4	114	108	105	102	100	98
5	114	108	105	102	100	98

## (2) B-727 (離陸時)

地点 航続距離	1	2	3	4	5	6
1	110	105	102	100	98	96
2	110	105	102	100	98	96
3	110	105	102	100	98	96
4	115	109	105	103	101	99
5	119	114	110	106	104	102
6	123	118	112	109	106	105
7	123	118	112	109	106	105

## (3) B-373 DC-9 (離陸時)

地点 航続距離	1	2	3	4	5	6
1~6	105	101	98	96	94	93

## (4) F-27, DC-3 (離陸時)

地点 航続距離	1	2	3	4	5	6
1~6	94	91	89	87	86	85

## (5) 着陸時の ECPNL (I, J)

機 種	1	2	3	4	5	6
4-Engine ターボ ジェット, B-707 B-720, DC-8 DC-10, DC-40 CV-880	119	113	109	106	104	102
B-727, -100	114	108	104	101	98	97
B-737, DC-9	114	108	104	101	98	97
F-27, DC-3 YS-11, CV-340	98	94	91	88	86	84

## 第5節 航空輸送システム整備計画の許容適合性に関する検討

第1節において指摘したように、航空輸送システム整備計画には、3つの目的があった。すなわち、第2節で、ターミナル空域での航空交通の安全性を確保する手段として、複数航路型の広域管制システムの導入を提案したが、この手段が、目的とする安全性をもたらすかどうかの検討がまず1つ必要となる。その次に、空港容量の増大という需要者側の要件充足性に関する検討が、そして、航空機騒音被害レベルの減少という空港周辺地域の住民側の要件充足性に関する検討が必要となる。

このような状況における計画情報処理には、許容化原理が非常に重要となる。第1章で述べたように許容化の過程には、図5-17に示されるように、認知情報と許容基準情報とが関与してくる。さらに、許容基準情報には、社会的-個人的、理論的-経験的という軸による4つのカテゴリーが存在する。

著者は、このシステムに従って、航空輸送システム整備計画の許容適合性について論じることとする。

### 1. 空港離着陸処理回数の推定

まず、需要者側の要件より許容される空港離着陸処理回数を求めることとする。需要者は、航空輸送システムの高速性に大きな経済的利潤可能性を感じる。航空機の待ち時間は、その直接的な指標の1つとされるが、ある経済学的分析によれば、4～6分が妥当な待ち時間とされている。<sup>21)</sup> この基準情報は、社会的-理論

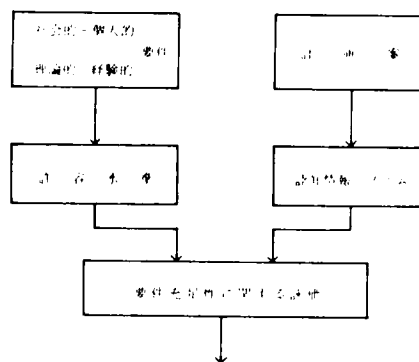


図5-17 要件充足性に関する許容化過程

的カテゴリーに属するものであるといえるだろう。著者は、この値を許容水準とし、第3節で開発したシミュレーションモデルを認知情報システムとし、需要者の要件を充足する空港離着陸処理回数の推定を行なう。

さて、第3節で開発したシミュレーションモデルにおける最重要パラメータは、図5-9に示した  $A/A$ 、 $A/D$ 、 $D/A$ 、および  $D/D$  という4種類の最小安全間隔である。これは、安全性の確保という航空輸送システム自身の要件とも関連するもので、本研究では、(i) 最終進入経路長 (Common glide path length) を航空機が安定な着陸態勢をとるに最小限必要とされる 6 NM とする。(ii) ジェット機、レシプロ機の着陸速度を 150 mph、120 mph とする。(iii) レーダー間隔を3マイルとする。そして (iv) 滑走路は単一占有則 (Single occupancy rule) とし、これらの<sup>22)</sup> 仮定と実測データをもとに、表5-4のような最小安全間隔を設定した。一方、アウターフィックスからゲートに至る経路数、同飛行所要時間は、計画手段の1つとして重要なものであるが、本研

表 5-4 航空機最小安全間隔

(1) A/A

SAFEA(I, J)

後続機種 先行機種	JET	PROP.
JET	1.4	1.3
PROP	1.8	1.5

(2) D/A

SAFED(I, J)

後続機種 先行機種	JET	PROP.
JET	1.4	1.4
PROP	1.3	1.3

(3) A/D, D/D

SERRW	JET	PROP.
着 陸	N(0.9, 0.01)	N(0.7, 0.01)
離 陸	N(1.5, 0.01)	N(1.0, 0.01)

究においては、経路数は最大3本とし、その所要時間、および調節可能時間を各ラインで同一に設定した。航空機の空港到着時間のパターンは、生活時間帯と強い関連性をもつものであり、図5-18のように2つのピークをもつとした。そして、

(1) 滑走路1本、離着陸混合使用

(2) 滑走路2本、離着陸別使用

(3) 滑走路2本、独立、混合使用

の各ケースについてのシミュレーションを行ない、図5-19を得た。

この図と前述の社会的・理論的基準情報とによって、需要者側の要件を充足する離着陸処理回数として、滑走路1本の場合には、400～425回/日、2本離着陸別使用の場合には、650～700回/日、2本独立混合使用の場合には、725～775回/日という値を推定した。もちろん厳密には

第2章におけるシミュレーションの項で述べたような諸手続きが必要であることはいうまでもない。ここで航空需要量の充足というもう1つの需要者側の要件を考え合せれば、需要者側より、滑走路本数の増設、あるいは、新空港の開設という要求が出されてくることが予想される。

なお、ちなみに、大阪国際空港、東京国際空港の発着制限回数は、表5-5となっている。これは上述の2本離着陸別使用の場合の理論値よりは低く、1本の場合より高めになっている。

## 2. 航空機騒音被害レベルよりみた空港離着陸処理回数の推定

NEF 値と土地利用の両立性 (Compatibility) は、表5-6 のようになっている。<sup>23)</sup> この表によれば、NEF で40以上、ECPNL で90以上になれば、その地域は、野外レクリエーション用には使用できないことが判る。

表 5-5 発着制限回数

	1 時間当り	連続 3 時間 当り	1 日当り	備 考
東京国際空港	34 回	86 回	460 回	
大阪国際空港	36 回	93 回	480 回	着陸機 { W-167 225 機 E- 58

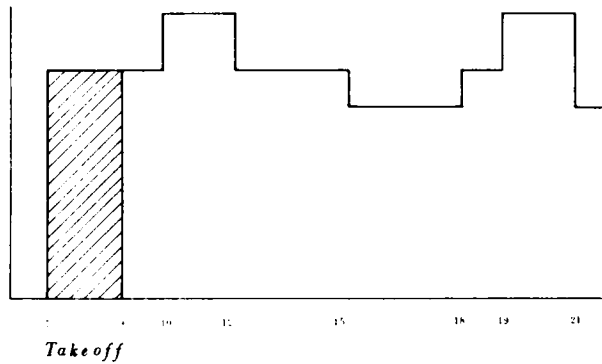


図 5-18 航空機の到着パターン

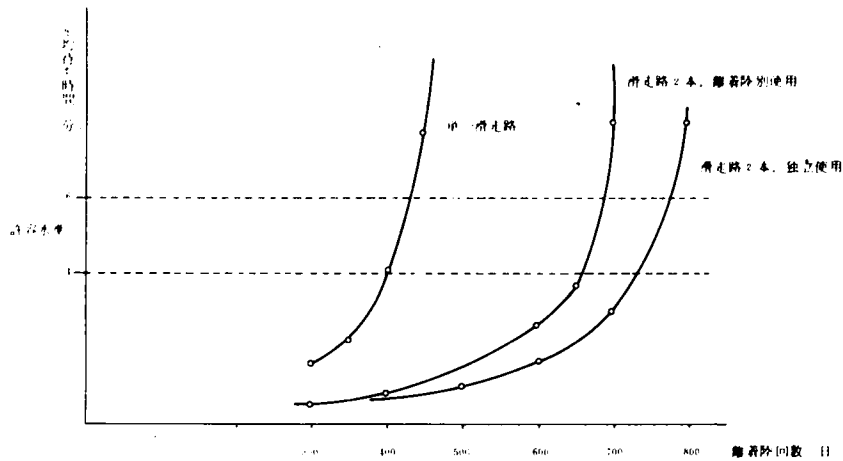


図 5-19 滑走路離着陸処理能力

表 5-6 航空機騒音被害レベルと土地利用の両立性

騒音被害地域 と NEF 値	土 地 利 用 形 態 と 両 立 性								
	住 居	商 業	ホテル	事務所 公共建築	学 校 病 院	劇 場 公会堂	野外劇場	野外運動	産 業
30 NEF	○	○	○	○	Ⅱ	+ Ⅱ	+	○	○
30 - 40	Ⅰ	○	Ⅱ	Ⅱ	×	×	×	○	○
40 NEF	×	Ⅱ	×	×	×	×	×	○	Ⅱ

＋ 屋内、屋外の音楽堂、野外劇場については、専門家による分析が必要

Ⅰ 個人住居の人は、不平をいうが、共同作業は可能。新規建設は避けるべきである  
アパートについては次項参照

Ⅱ 騒音減少施設、騒音制御が、建設計画に組入れられねばならない

この表は、社会的・経験的カテゴリーに属する基準情報と考えられる。著者は、この表より許容水準を 30 NEF とし、第 4 節で開発したモデルを認知情報システムとして、空港周辺地域住民の要件より許容される空港離着陸処理回数について検討することにする。

まず、空域の形態、運航時間帯、到着パターン、機種構成、航続距離構成を、1. のシミュレーションの場合と同一とし、1 日の運航回数が、約 425 機となる場合について、図 5-20 に示す着陸、離陸経路下の 12 地点での NEF 値を求めた。ここで 425 機/日という運航回数は、需要者側の要件に関する前述の分析より、滑走路 1 本の場合に許容される限界値であり、滑走路を 2 本とした場

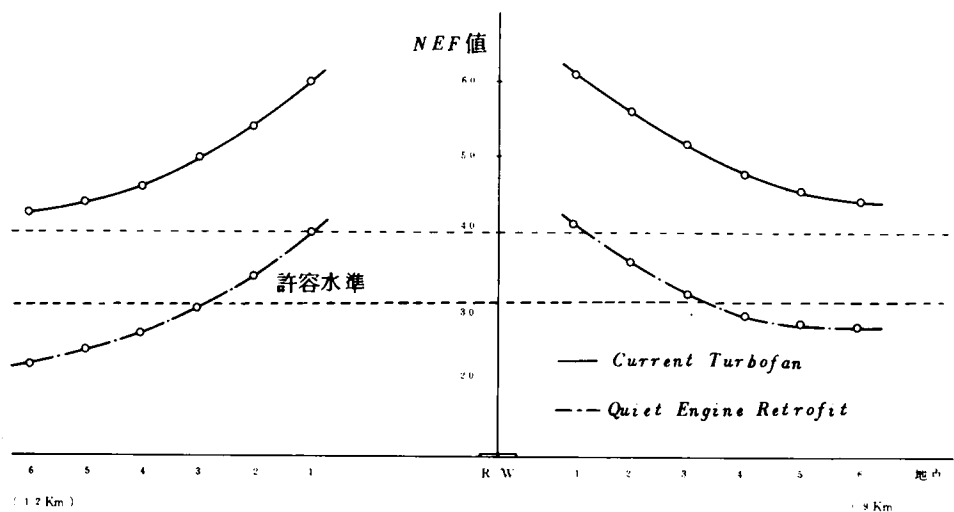


図 5-20 予測航空機騒音被害レベル (425 機/日)

合には、需要者側よりみれば許容水準を十分満足するものである。騒音被害の社会的一経験的許容水準は、前述したように 30 NEF である。図 5-20 によれば、現在のエンジンでは滑走路端より 10 数 Km 離れた地点でも NEF 値は 40 を越えており、この地点に住む住民側の許容水準を満たさない。このことより空港周辺に近接して住居がある都市部の空港では、425 機/日 という離着陸処理回数は、地域住民側の要件に関する社会的一経験的基準よりすれば許容されないことになる。逆に、この値が許容されるためには、空港周辺の広範囲な地域の土地利用計画が騒音レベルに対して両立性をもつ形でなされていなければならないといえる。ところで、第 4 節で述べた航空機騒音に関する評価情報、NEF 値の構造を検討すると、大雑把にいつてこの値は、航空機より発生する騒音レベル EPNL の値に 80%、運航回数に 20% 規定されていることが判る。すなわち、航空機の発生騒音レベルの減少とそが、空港周辺地域の騒音被害レベルの減少に直接的な効果をもつのであって、運航回数を少々減しても NEF 値はあまり減少せず、上述の社会的一経験的許容水準を満たすにはいたらない。航空需要をある程度満す必要があるとするならば、EPNL 値の減少に関する努力が必要となる。そこで著者は、EPNL が約 20% 減少するとされる *Quiet Engine Retrofit* の場合についても、NEF 値を求め、図 5-20 に合わせて示した。この場合、滑走路端より 9 Km の地点で NEF 値は、社会的許容水準とされる 30 を下まわり、住民側の要件に関する許容水準が満たされることになる。

以上の分析は、1. の場合には、社会的一理論的カテゴリーに属する基準情報による許容化であり、2. の場合には、社会的一経験的カテゴリーに属する基準情報による許容化であることに注意しておく必要がある。第 1 章で述べたように、他の基準情報については不明であり、特に、航空機騒音被害については、その性質上、個人的一理論的基準情報による検討が必要であることを付記しておく。

### 3. 複数航路型の広域航空交通管制システムに関する検討

1. , 2. の分析においては、複数航路型の広域航空管制システムは、実行可能なものであり、航空交通の安全性をもたらすものであるとして、先験的に使用した。ここでは、これらの問題について若干検討することにする。

さて、第 3 節で述べたように、滑走路の配置、使用形態にはいろいろなタイプがある。滑走路 2 本が独立に使用可能なためには、4500 フィート約 1350 m の間隔が必要とされる。わが国の既設空港では、独立使用は困難であるとされている。そこで、滑走路 2 本、離着陸別使用という方式が多くとられる。この場合離着陸が独立にできる条件は、滑走路間隔が 3000 フィート、約 900 m 以上である。

まず、複数航路型管制システムは、滑走路 2 本、離着陸別独立使用の場合において、次のような効果をもつ。すなわち、一般的には、滑走路容量は、離陸待ちによって規定されるとされるが、図 5-

21 に示すように、この場合には、着陸待ちに規定される可能性がある。着陸待ちは、空域の構成、管制システム等に関連するものであり、最小安全間隔  $SAFEA(I, J)$  を減少させたり、ホールディング時間を減少させたりすることによって減少させることができる。複数航路型管制方式は、ホールディング時間の短縮の効果をもつ。図 5-22 は、単一航路型と複数航路型の空域構造をもつシステムにおける着陸待ちの比較を示している。後者のシステムでは、ホールディングは 2 回以下となっている。これは、後続機に必要な遅延時間を一回経路を飛行することによって精度高く調節しているためである。例えば経路 2 を飛行する場合を考えよう。1 分の遅延を必要とする航空機は、経路 2 を飛行を飛行することによって、この遅延時間を調節することができる。経路 2 がなければ、この航空機はホールディングして約 4 分待機しなければならないのである。実際、経路別飛行度数を調べてみると、図 5-23 となり、このことが裏付けられる。

また、複数航路型航空交通管制方式による広域管制システムを実施するためには、ターミナル空域内の全ての航空機の正確な位置、速度の把握が必要である。そのためには、高度の現実的情報処理システムの開発が必要となる。図 5-24 は、ある時刻におけるターミナル空域内の全航空機の位置、機種に関する出力であるが、これらはそのための基礎情報となる。

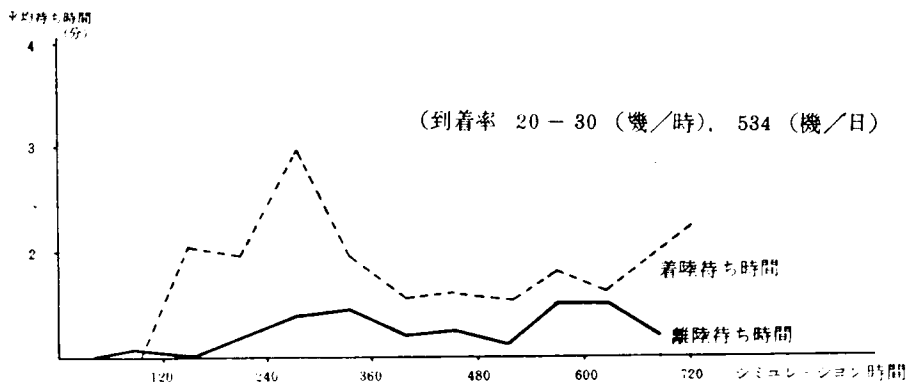


図 5-21 滑走路 2 本 離着陸別使用の場合の容量規定要因

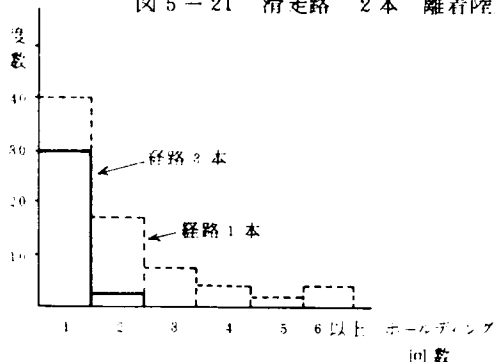


図 5-22 経路数とホールディング回数

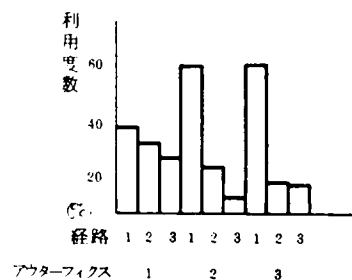


図 5-23 アウトファクス別経路利用率  
(到着機数 16 ~ 24 機/時間)



これらの図は、現在の大阪国際空港のように、1日2回、朝、夕にピークのあるダイヤグラムで、時間当たり 32～42 回程度の離着陸のある場合のシミュレーション結果である。

まず図 5-24 (1) は、ナイトスポットしていた航空機の離陸が済み、朝の到着ラッシュを迎えた 10～11 時の時間帯の状況である。システム内には、11 機の航空機が観察される。この図は、離陸

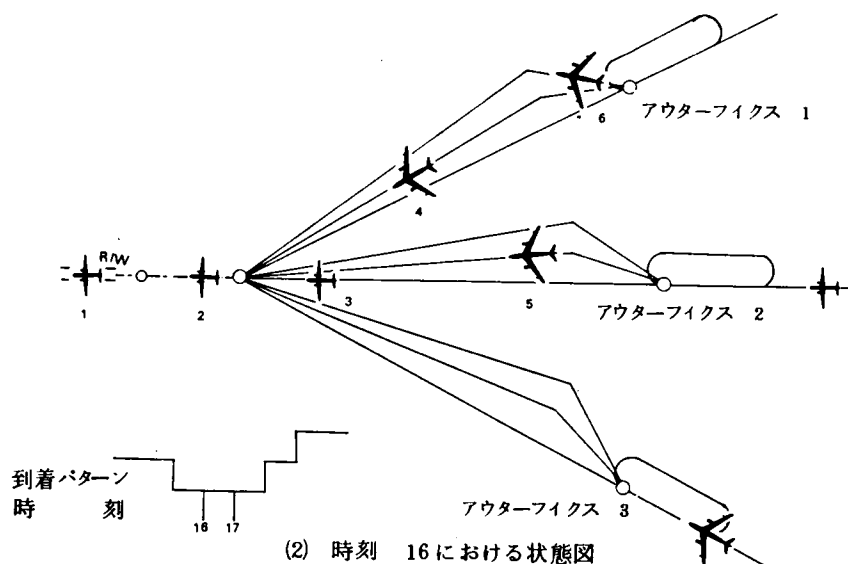
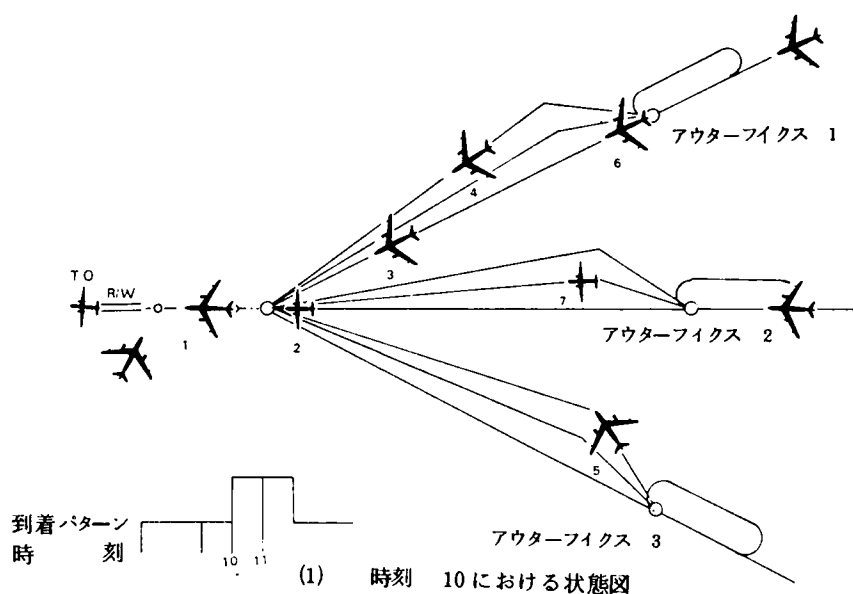


図 5-24 空港ターミナル管制圏内の状態図

機に引き続いて、ジェット機が、すでに着陸態勢に入り、最終進入経路上を飛行していることを示している。そして、滑走路端のホールディングエプロンには、航空機が1機離陸待ちをしている。各アウターフィックスより最終進入起点へ飛行中の航空機が、6機経路管制を受けている。その状況は、アウターフィックス2より常周経路を飛行してきたレシプロ機2が、最終進入起点に入ろうとしている。この図に記入されている番号は、最終進入起点を通過する順序である。この地点での航空機相互の縦間隔を調べてみると、航空機3と4、5と6との縦間隔は、1.4分となっている。これは、5と6の間は最小安全間隔ぎりぎりであることを意味する。ところが、5、6は、それぞれ異なったアウターフィックスより進入し、さらに第2回経路を飛行していることより、管制官が、著者が提案した管制方式によって最終進入起点での両機の安全間隔を確保した事例であることが判る。

さらに、現在アウターフィックス接近中の航空機が2機いる。この時間帯の統計データをみると、着陸機20機、離陸機17機となっており、時間当たり37回の離着陸が観察されている。これは、表5-5に示した大阪国際空港の限界値36に近い。

また、図5-24(2)は、ピークを過ぎた状態のシステム図で、16時～17時の時間帯にあたる。この時間帯では、ピーク時より、平均着陸機数は5機少なく、16機/時間となっている。この図は、着陸機(レシプロ機)がまだ滑走路上にあり、そのすぐ次に着陸機が続いている場合である。このようなストラータの情報と出力形式を有効に用いれば、直接経験者の判断をモデルのバリフィケーションに利用することが可能となろう。

なお、この場合の離陸待ち時間、着陸待ち時間を記しておくと、それぞれ4.9分、1.5分である。また、ホールディングは、2回観測されている。

## 第6節 結 言

本章で研究した航空輸送システム整備計画は、対立し、相互に関連し合う複合した要件充足性を目的とするものであり、現代の社会的計画の状況を代表する典型的な事例の1つであるといえよう。

すなわち、空港容量増という需要者側の要件、それと鋭く対立する航空機騒音被害の減少という空港周辺住民の要件、さらに、輸送の安全性というシステム自身の要件という3つの要件の充足性が問題となる。

第1章で述べたように、計画主体間に鋭い対立を起す計画にあつては、それぞれの要件充足性に関する認知情報システムの開発が、合理的、科学的情報処理である必要条件の1つとされる。そして、基準情報のカテゴリーを明示し、その許容適合性を明らかにすることがまず肝要となる。

本研究においては、著者は、まず航空輸送システム自体の要件の充足性として、現在の国際空港級のターミナル管制に要請されている、広域管制システム（*Extended Control System*）の実行可能な方法として、複数航路型航空交通管制方式を提案した。そして、このシステムの要件充足性を、需要者側の要件、空港周辺地域住民側の要件、ならびにシステム自身の要件から検討した。

すなわち、第2節において、複数航路型の広域航空交通管制システムの構造を明らかにし、第3節において、そのシミュレーションモデルを開発した。このモデルは、需要者側の要件充足性に関する認知情報システムであると同時に、著者が提案した新しい管制システムに関するそれでもある。

第4節においては、空港周辺地域の航空機騒音被害のレベルを *NEF*（*Noise Exposure Forecast*）値で推定するシステムを、第3節で開発したシミュレーションモデルを基盤に開発した。そして、第5節において、対立し、相互に関連し合う3つの要件に関する許容適合性について論じた。

まず、航空機の待ち時間に関する経済学的分析にもとづく、社会的・理論的基準情報より、許容水準を4～6分とし、シミュレーション結果より、需要者側の要件より許容される空港離着陸処理回数として、

- (1) 滑走路1本、離着陸混合使用の場合には、1日約400～425回
  - (2) 滑走路2本、離着陸別独立使用の場合には、1日約650～700回
  - (3) 滑走路2本、独立使用の場合には、1日約725～755回
- と推定した。

次に、上述の分析では許容される425回/日という離着陸回数のある空港周辺10数kmの範囲の12の地点で、予測航空機騒音被害レベル（*NEF*）を求めた。まず、現在使用されているエンジンでは、滑走路端より2.0 Km離れた地点でも、*NEF* 値は、40を越えており、一応社会的・経験的許容水準とされる30 *NEF* を満たさないことが判った。そこで著者は、*NEF* モデルを検討し、それが航空機1機より発生する騒音の客観的騒音度 *EPNL* に約80%、運航回数に約20%規定されることを明らかにし、離着陸回数を少々減じても、30 *NEF* という許容水準を満たすことはできないことを指摘した。そして、現在の大阪国際空港レベルの離着陸処理回数が、周辺住民の要件よりみて許容されるためには、

- (1) 空港周辺の20数 Kmにわたる地域の土地利用を、騒音レベルと両立性をもつ形に再編成する。
  - (2) 現在のエンジンより *EPNL* 値が20%程低いとされる *Quiet Engine Retrofit* を使用する。
- 必要があることを示した。

しかし、この場合、社会的・経験的カテゴリーに属する基準情報という1側面でのみの話であり、他の個人的・理論的カテゴリーに属する基準情報については、不明であることを付記しておかねばならない。

最後に、複数航路型の広域管制システムの実行可能性、事実対応性、要件充足性について検討するため、ある時刻におけるターミナル空域の全航空機の位置と状態というレベルのストラータの情報を出力した。そして、この出力図による詳細な検討を行なうとともに、これが、本システムの実行可能性、事実対応性、要件充足性に関する経験者による直接的な判断を可能とする情報となることを述べた。

本章の研究は、計画主体間に鋭い対立が起りやすい現代の社会的計画にとって重要な、いくつかの課題の存在を示唆する。例えば、

- (1) 各カテゴリーに対応する許容水準の設定システムとその変更可能性は？
- (2) 各カテゴリーの基準間に、順序関係等が存在するか？
- (3) 許容水準に達しない場合の処理は？

等々である。

本論文の目的が、第1章で述べたように、個々の問題の解決というよりは、より本質的な問題を提起し、その解決の手掛かりを示唆することにあるとするならば、本章で論じた許容化原理は、本研究における最も重要な概念の1つであるといえるだろう。

## 第 5 章 参 考 文 献

- 1) 吉川 和広, 木保 昇 “空港 *Extended Control System* のシミュレーションモデルに関する研究” 土木学会論文報告集 202 (1972) pp.83~84
- 2) K. Yoshikawa, N. Kimata “Study on Simulation Model of Airport Extended Control System” *Trans. of JSCE*. 4 (1972), pp.190~191
- 3) 津 崎 武 司 “ジャンボ・マッハ時代の空港” コンピュートピア 4, 44 (1970) pp.25~31
- 4) 松 下 寛 “現代における科学技術のあり方” 創造の世界 13 (1974) pp.66~81
- 5) 例えば、昭和46年7月31日 朝日新聞によれば、「一週間に一、二回は起っている」
- 6) 米 村 節 郎 “ASR, PAR, SSRはこうして運用する” *Airport & Ground Services* No. 2 (1967)
- 7) 航空振興財団 「国際民間航空条約 第2, 6, 11 および 14 付属書」

- 8) 航空振興財団 「PANS-OPS 航空業務方式 (運航編)」 (1967)
- 9) R. Horonjeff 「Planning and Design of Airports」 McGraw-Hill (1962)
- 10) 前 掲 9)
- 11) 前 掲 8)
- 12) P. T. Astholx, D. J. Sheftel, R. M. Harris “Increasing Runway Capacity,”  
Proceedings of the IEEE, 58 (1970), PP.300-307
- 13) 前 掲 9)
- 14) 前 掲 12)
- 15) 前 掲 12)
- 16) AIL 「Airport Runway and Taxiway Design, Report 7601-1」 (1960)
- 17) 井 戸 剛 「空港の科学—そのシステムと機能—」 日本放送出版 (1970)
- 18) 北 川 一 “乱数発生のためのサブルーチン KUNIRN について”  
京大大型計算機センター広報, 3, 1, (1970)
- 19) R. L. Paullin “Capacity and Noise Relationships for Major Hub Airports”  
Proceedings of the IEEE, 58 (1970), PP.307-313
- 20) 兵庫県企画部 「関西新国際空港計画資料集」 (公害編)
- 21) P. H. Stafford, M. A. Warskow “Airport Design by Economic Analysis”  
ASCE 87. AT 2 (1961) PP.29-53
- 22) 前 掲 12)
- 23) 前 掲 19)
- 24) 前 掲 19)

## 第6章 結

## 論

輸送システム整備計画は、高度にシステム化された現代社会の構造的要因よりくる強い要請を背景に、拡大の一途をたどる現代の基幹的計画の1つであり、そこには現代の社会的計画がもつ多くの問題が、集約的に含まれている。本論文は、このような計画を対象とし、計画情報処理に関する研究を試みた。

計画は、問題従属的（*Problem Oriented*）なものであるといわれるが、そこにもいくつかの共通する基本的構造を見出すことができる。本論文においても、社会的計画に共通する方法論的成果と、個別輸送システム整備計画に関する情報の獲得という問題従属的成果とが含まれている。まず、各章のこれら成果について整理しておこう。

第1章においては、まず、現代社会における輸送システム整備計画の意味と構造について論じ、それが現代社会の特徴である社会のシステム化と密接な関係をもつものであり、システム化された現代社会にあっては、構造的要請を背景に、必然的に拡大、強化の方向をたどる構造をもつことを指摘した。そして、この過程は、計画が目的論的偏向に陥り、巨大な逆機能の派生を制御する有効な手段を見出すことに失敗するならば、加速度的に、社会の自己保存系としての存続自体さえも脅かす危険な状態に至るものであることを明らかにした。

著者は、このような危険性を回避し、有効な計画を策定し、実施するためには、社会的計画システムを社会の自己保存系としての行動様式の1つとして認識し、その確立をめざすことが必要であることを述べた。そして、このような視点より、社会的計画システムが自己保存系一般と同様に、情報処理とエネルギー処理という過程をもち、前者が後者を制御するという階層的構造をもつことを明らかにした。さらに、その情報処理基体が人間であること、人間の情報処理の特徴は、シンボル性記号にあり、それが *CED* 変換構造をもつことより、社会的計画システムにおける情報処理も基本的には *CED* 変換構造をもつとすべきことを述べ、著者は、未来を構想するという計画行動が、このシンボル性記号の対象遊離性にその創造性の源泉をもつとともに、不確実性をも本質的にもっていることを指摘した。つまり、計画とは、シンボル性記号の獲得によって動物レベルでは未分化な認知-指令作用が分化し、発生した人間における意味作用の進化の1側面であるという視点を提示した。

著者は、このような考え方に従って、計画の基本要素「主体」、「目的」、「手段」、および「対象」（環境）という4つの基本概念についても検討を加え、ここでいう計画主体とは、情報処理基体であることを示した。一般論的にいって、大規模システムの整備計画にあっては、高度の情報システムが必要となる。従って情報処理基体としての計画主体には、専門的知識が必要とされてくる。ここに、真の主体とされる一般住民が、名目的主体となり、情報処理基体としての機能的主体が、実質的主体となる構造があることを示した。

さて、計画が目的論的偏向に陥らないためには、計画の社会、生態システムへの作用関係の合理的、科学的把握が必要となるが、著者は、これには機能分析概念の導入が有効であるとし、輸送システム整備計画の構造化を行なった。まず、機能主体として、(1) ハードな輸送手段、(2) ハードな輸送施設、および(3) ソフトな運用システムという3つのカテゴリー、作用局面として、(1) 建設、(2) 投資、および(3) 供用があることを示し、OD間の空間的、機能的構造に従って、機能客体の単位を選定し、機能を受ける側と逆機能を受ける側にカテゴリー化するという方法を示した。ここで明らかにされたことは、前述の真の主体が、実は計画の機能、逆機能を受ける機能客体の1単位であること、一般的に、機能を受ける側と逆機能を受ける側とでは、重合する部分が少なく、鋭い計画主体間の対立が存在すること、従って、社会的計画システムでは、計画の機能的側面のみならず逆機能的側面に関する情報システムも必要となること、機能を受ける側と逆機能を受ける側とを意思決定組織に加えること、等である。

上述したように、社会的計画は非常に複雑であるとともに、大規模でもあり、研究しなければならない側面も多い。それらを統合することによって始めて実効的計画が可能となる。ここに、学習過程論的な接近が要請されてくる。著者は、複雑な計画の問題を学習可能にするためには、問題の側面を明確にする類別化の作業が必要であるとし、その1つの方法として多階層的システム (*Multi-level hierarchical system*) の諸概念が有効であるとし、CED変換構造を基本とする構想、基本、および実施計画よりなる社会的計画システムの1つの階層的表現にもとづいて、その類別化を試みた。そして、各計画階層レベルの各サブシステムにおける認知情報システム、評価情報システム、および指令情報システムの研究が必要となることを示した。

まず、著者は、従来計画の科学化と呼ばれてきたものが、各レベルの各サブシステムにおける認知情報システムの研究であり、それが合理的、科学的であるためには、計画階層レベルよりの要請と、情報システムの特性ととの適合性が必要であり、ここに、認知情報システムの比較情報機能論的研究という新しい視点が重要となることを示した。そして、記述レベルの階層性(ストラータ)という階層的システム論の概念が、その手掛となることを述べた。

次に、評価システムは、シンボル性記号を根源とする計画にあつては最も重要なものであり、「許容化」と「最大化」の過程よりなるというモデルの導入を提案した。そして、評価すべき側面として、事実対応性、要件充足性、および実行可能性の3側面があること、許容基準には、社会的・個人的、理論的・経験的という軸による4つのカテゴリーがあることを述べるとともに、最大適合性をもつが、許容適合性をもたない場合、社会的・理論的基準では許容されるが、個人的・経験的基準では許容されない場合等が起きる可能性があることを指摘した。また、許容水準の設定、最大化すべき側面の選定に、情報処理基体としての計画主体の自由度があることを指摘し、情報処理のシステム化によるこれらの対象化が、合理的、科学的情報処理の必要条件の1つであることを示した。

指令システムの研究については、意思決定レベルの階層性（レイヤー）と、干渉、フィードバックという概念が有効となり、認知と評価、評価と指令との間の種々の問題が、この考え方で接近できることを示した。

第2章以後においては、第1章で述べた方法論に従って、輸送システム整備計画のいくつかのレベルのいくつかのサブシステムにおける情報処理について研究した。

まず、第2章では、輸送システムの顕在的機能と密接な関連をもつ待ち情報システムに関する研究を行った。待ち情報に関する論理情報システムには、(1) 待ち行列理論モデルと(2) モンテカルロ・シミュレーションモデルとがある。待ち現象を記述するためには、(i) 確率事象の記述手法と(ii) 時間の進行手法とが必要であるが、前述の(1)、(2)の区別は、(i)の手法よりくるものである。著者は、まず、(i)、(ii)に関する手法より、論理モデルを4つに分類し、それぞれについて、記述時点、記述可能領域、記述レベルの階層（ストラタ）および操作性を明らかにした。さらに、(1)、(2)のモデルによる  $M/M/1$  の情報システムを示し、両モデルの特性に関する数値的な比較をも試みた。そして待ち行列理論系のモデルは、ある記述レベル以上の階層のみを扱うものであり、数学モデルに共通する操作性に優れるが、記述可能領域が狭いという特徴をもち、一方シミュレーションモデル系は、直接的には最下位の階層のみを扱うものであり、記述可能領域は広いが、操作性に難があり、補助的な情報処理システムを必要とすることを述べた。また、待ち行列理論系のモデルにも2種類のものがあり、両者ではストラタも情報の欠落度も異なることを指摘した。

さて、記述レベルの階層が異なると、その情報機能も変る。一般的には、記述レベルの階層が上ると、よりよい理解力が得られ、逆に下ると、より詳細な説明力が得られるとされる。従って、計画レベルの階層性に応じた記述レベルをもつ情報システムを使用することが望ましい。著者は、この意味で両システムモデルを適所に、あるいは相補的に使用することが肝要であることを指摘した。

従来の研究においては、待ち情報システムは、輸送システムの顕在的機能の評価のためのみに使用されていたが、他にも有用な情報を生むとし、3つの基本的問題に適用し、

- (1) システムの運用時間が、平均サービス時間の20倍以上になれば、あるレベル以上の計画では、平衡状態と同形とみなして処理してもさしつかえない。
- (2) 輸送手段の運動特性上許容される範囲での施設の一体的使用、サービスの専門化、単純作業への分割等は、輸送システム整備計画のソフトで、実効的な計画手段として、今後の主要な戦略とすべきである。
- (3) サブシステムのサイズが7以上あれば、あるレベル以上の計画では、独立なシステムとして処理してもさしつかえない。

ことを明らかにした。



第3章、第4章、および第5章では、個別輸送システム整備計画を対象とし、第1章で指摘した各レベルの各サブシステムにおける情報処理システムについて、具体的に研究した。

すなわち、第3章においては、開門設置計画という潮流、潮位差のある地域における海上輸送システムのターミナルシステム整備計画を対象とし、その評価システムについて研究した。

港口に開門を建設するという計画構想は、海上輸送システムの安全性、迅速性の確保という機能を始めとし、種々の機能、逆機能をもたらす。構想計画が提示されるのは、それが機能を生むからであり、社会的計画システムは、まずその要件充足性に関する評価を行なう必要がある。海上輸送システム整備計画の評価には、国民経済的視点が重要とされるが、著者もこの視点によるモデル化を行なった。すなわち、第2章における分析結果を参考に、許容される基本開門システム案を作成し、集団サービス形の待ち行列理論モデルを船舶の開門での待ちに関する情報システムとし、船舶の待ち損失と開門建設費とよりなる総輸送費最小を評価関数とする評価システムを作成した。そして、このシステムの許容適合性、最大適合性について論じた。

まず、総費用最小化モデルは、最大適合理化計画案選定の1つのモデル化であり、ここでは、国民経済性という社会的一理論的カテゴリーに属する要件充足性が最大化すべき側面として選択されていることを示した。明らかに、本モデルは部分的最小化モデルであり、その前提条件として、港湾のサブシステム間の能力のバランスが保持されていることが必要となる。また、係数、待ち情報システムには多くの仮定が設けられている。著者は、本モデルのようなシステムの情報処理においては、これら前提、仮定を陽表的に表示することが可能であり、操作的にその影響を検討することができることを示した。そして、システム論の情報処理の合理性、科学性の重要な側面の1つとして、この対象化作用と操作性とがあることを指摘した。

最後に、国民経済的要件という基準では、計画の機能客体の単位は明確に区別されず、機能、逆機能は一次元化され易いことに注意しておく必要があることを指摘しておいた。

第3章では、著者は、海上輸送システムのターミナル部の整備計画を事例としたが、第4章では、ルート部の整備計画を研究事例として選んだ。バースを中心とする海上輸送システムのターミナル部、港湾の整備は、わが国の場合かなりのレベルまで達成されている。現時点では、海上輸送システムの能力は、大規模港湾の開発を除けば、ルート部である航路システムの能力に規定されるという状態にある。従って、海上輸送システムを補完的システムとする臨海地域の諸計画にとって、このシステムの整備は非常に重要なプロジェクトとなっている。また、海上交通の増大にともなって現実的にも、港口、あるいは狭水路において、多数の船舶の衝突事故が報告されており、海上輸送システムの安全性というシステム自身の要件充足性という意味からも、その整備は急務となってきた。すなわち、第4章においては、上述のような状況にある航路整備計画の実施計画レベルにおける情報処理システムの研究を行なった。

第1章で述べたように、実施計画レベルでは、実行可能性、事実対応性が重要な問題となり、認知情報システムには、より詳細な説明力をもつ、ある程度ストラタの低いものが要求されてくる。そこでまず、著者は、船舶の運動特性を詳細に調査し、航路通航時の操船のモデル化を行ない、記述可能領域の広いシミュレーションモデルを用いて、その論理モデルの開発を行なった。ところが、第2章で指摘したように、シミュレーションモデルは操作性に難点をもつため、情報獲得効率のよい補助システムを必要とする。著者は、そこで実験計画法を導入した情報処理システムを提案した。そして、本モデルのバリフィケーションとして9つの要因を選択し、直交表  $L_{16}^{15}$  を用い、その主効果、交互作用効果の推定を行ない、本シミュレーションモデルが安定した情報システムであることを確認した。なお、要因効果の大きさは、その要因に要請される精度の高さを意味し、事実対応性、あるいは実行可能性に関する許容水準の客観的設定にとって重要な情報となることを指摘した。また、効果の絶対値のみでなく、要因効果図のパターンも重要な情報であることを明らかにした。

次に、航路整備計画の実実施計画の1つである、ソフトな航路通航規制の効果、および環境要素である潮流、横断船舶数の影響を、直交表  $L_9^4$  による一連のシミュレーションより分析した。そして、船速による分離規制の効果が最も大きいこと、潮流、横断船舶数の影響度がかなり予想されることを示した。

また、著者は、補完的プロジェクトとしてのフィードバック情報として、主航路、ならびに横断航路の交通容量の推定を行なった。そして、

- (i) 幅員 600 m の主航路に 6 隻/時間の交通量をもつ幅員 700 m の横断航路が、直角に交差ししている場合、主航路の交通容量は、40 隻/時間 程度
- (ii) 同様の航路で、主航路の交通量を 24 隻/時間 とした場合、横断航路の交通容量は、10 隻/時間 程度

という推定を行なった。これらの値は、来島中水道、備讃瀬戸北水道における実測値、および混雑感よりみて妥当なものであるといえる。

これらの事例より判るように、実験計画法を導入した情報処理は、非常に高い情報獲得率をもつとともに、次に述べるようにシステム論的情報処理の合理性、科学性の真の意味を把握する重要な手掛となることを示唆した。すなわち、＜シミュレーションー実験計画法＞よりなる情報処理においては、

- (1)  $M-K$  スターの計画モデル概念により、まず対象の目的論的構造化がなされる。
- (2) 次に、システムの一般理論の概念により、操作性をもつ論理モデル化がなされる。
- (3) そして、実験計画法の概念により、操作性と目的論性を備えた情報処理がなされる。

という構造をもつ。これら概念の変化を対象化することによって、システム論的情報処理がもつバイアスを明確にすることができるのではないだろうか。

最後に、本研究結果よりポートアイランド、新空港、本一四架橋のように、航路の幅員、形態に直

接関連する計画を抱える瀬戸内海沿岸地域の諸計画は、この補完的システムとしての航路システムの容量という観点より、その斉合性を検討する必要があることを指摘した。

第5章では、著者は、現在高速時代の輸送システムとして重要な役割を荷うとともに、逆機能の巨大化にともなって種々の社会的問題を惹起している航空輸送システム整備計画という、極めて現代的な計画を事例として、許容化原理について研究した。

航空輸送システム整備計画のおかれている状況の困難性、現代性は、それが鋭く対立する目的を背負っているという点にある。すなわち、爆発的需要増を背景とする空港容量増という要請と、それとは鋭く対立する航空機騒音被害の減少という要請とがあり、それぞれの側に属する主体、すなわち、需要者側と空港周辺地域住民側との間の鋭い対立がそれである。その上本計画は、さらに、航空機の大型化、高速化にともなうターミナル空域における航空交通の安全性を確保するという課題をかかえているのである。

第1章で指摘したように、このような状況にある計画にあっては、何よりも許容適合性をもった計画案の選定が重要となる。そこで、著者は、上述の3つの要件に関する計画案の充足性を評価するための情報システムを開発し、第1章で導入した許容化システムによって、その許容適合性に関する検討を試みた。すなわち、まず、ターミナル空域における航空交通の安全性を確保するという輸送システム自身の要件を充足する手段として、実行可能な複数航路型の広域航空交通管制システム（*Extended Control System*）を提案し、そのシミュレーションモデルを開発した。需要者側の要件は、航空輸送システムのもつ高速性による経済的利潤可能性であり、上述のシミュレーションモデルより、航空機の待ち時間を推定することによって評価される。一方、空港周辺地域住民の要件は、航空機騒音被害レベル *NEF* (*Noise Exposure Forecast*) 値で評価されるとし、上述のシミュレーションモデルを基礎に、その推定システムを開発した。

許容化過程は、これら情報システムと、社会的・個人的、理論的・経験的という軸による4つのカテゴリをもつ基準情報とによってなされる。前述した需要者側の要件に関する許容基準情報としては、経済学的分析結果があり、4～6分の待ち時間が許容水準とされている。これは、明らかに社会的・理論的カテゴリに属するものである。この許容水準によれば、

- (1) 滑走路1本、離着陸混合使用の場合には、1日約 400～425回
- (2) 滑走路2本、離着陸別独立使用の場合には、1日約 650～700回
- (3) 滑走路2本、独立使用の場合には、1日約 725～755回

の離着陸回数が許容されるという推定結果が得られた。現在の大阪国際空港は、(2)の場合に近いが、その発着制限回数は、480(回/日)であり、かなり抑えられたものであると推定される。

住民側の要件に関する許容基準情報としては、*NEF* 値と土地利用の両立性 (*Compatibility*)

に関する調査がある。これは、社会的経験的カテゴリーに属するものであるといえよう。著者は、この基準情報より、滑走路より 10 数km の地点において、航空機騒音被害が住居、商業、ホテル、公共建築と両立するとされる 30 *N E F* 以下となることを許容水準とした。そして、425 (回/日) という滑走路 1 本の場合の上限、大阪国際空港における制限回数より 10 % 減の離着陸回数の場合について、滑走路より 10 数km の範囲の 12 の地点における *N E F* 値を求めた。そして、現在のエンジンでは、20 km 以上離れた地点でも 40 *N E F* の航空機騒音被害が予想されることを示した。著者は、*N E F* モデルを理論的に検討し、これが航空機より発生する騒音の客観的レベル *E P N L* に約 80 %、連航回数に約 20 % 規定されることを明らかにし、現在のエンジンでは、少々離着陸回数を減じても、30 *N E F* という許容水準を満たさないことを指摘した。そして、現在の大阪国際空港レベルの離着陸処理回数が、周辺住民の要件よりみて許容されるためには、

- (1) 空港周辺の 20 数km にわたる地域の土地利用を、騒音レベルと両立性をもつ形に再編成する。
- (2) 現在のエンジンより *E P N L* 値が 20 % 程低いとされる *Quiet Engine Retrofit* を使用する。

必要があることを示した。

第 1 章で述べたように、ここで、これらの議論では、許容基準情報が個人的カテゴリーのものを含まないことを指摘しておかねばならない。

最後に、複数航路型の広域管制システムの実行可能性、事実対応性、要件充足性について検討するため、ある時刻におけるターミナル空域の全航空機の位置と状態というレベルのストラータの情報を出力した。そして、この出力図による詳細な検討を行なうとともに、これが、本システムの実行可能性、事実対応性、要件充足性に関する経験者による直接的な判断を可能とする情報となることを述べた。

本章の研究は、計画主体間に鋭い対立が起りやすい現代の社会的計画にとって重要な、いくつかの課題の存在を示唆する。例えば、

- (1) 各カテゴリーに対応する許容水準の設定システムとその変更可能性は？
- (2) 各カテゴリーの基準間に、順序関係等が存在するか？
- (3) 許容水準に達しない場合の処理は？

等々である。個々の問題の解決というよりは、研究すべき課題の提出とその手掛りを示唆するという意味においては、第 5 章で論じた許容化原理は、本論文における最も重要な概念といえる。

以上が本論文で扱った問題とその成果である。これら研究において、著者は、海上輸送システムのターミナルシステム、ルートシステム、航空輸送システムの運用システムという輸送システムの 3 つの基本サブシステムを取りあげているし、認知情報システムの特性、評価における許容化、最大化過程、システム論的情報処理と計画情報処理における基本的な課題についても幅広く論じている。しかし、それ

でも計画階層レベルと情報処理の適合性を比較情報機能論的に論じられるほどの事例数ではない。この問題は、今後の課題として残されたわけだが、その手掛りは提出できたのではないかと考えている。

本論文で研究したように、計画は現代社会における基本的な行動様式として重要な意味をもつ。カッシーラは、人間をアニマル・シンボリックム (*Animal Symbolicum*) ととらえたが、著者が指摘したように、計画がシンボル性記号の対象遊離性にその始源をもつと考えるならば、それは人間に本来潜在的に備わった行動様式であるといえるだろう。これが現代社会において社会的行動様式として定着してきた背景には、いろいろな因子が考えられるだろうが、その1つに巨大技術を背景とする人間行動のインパクトの巨大化、その危険性に関する自覚があげられると思う。すなわち、社会的計画システムは、人間の社会的諸活動に関して、人間がもつ 認知 — 評価 — 指令 (*CED*変換) という行動様式を拡大し、自覚的なシステムとすることによって、その制御を図ろうとして考案されたものと考えられる。そうすれば、人間の情報処理に関する諸研究の成果が、すべて社会的計画システムの確立にとっても有用なものとなることが判る。従来の計画情報処理に関する研究においては、シンボル性記号の対象遊離性に起因する不確実性に関する側面のみが重要な課題とされてきたきらいがあるが、シンボル性記号の対象遊離性は、計画の創造性の源泉でもあるのである。この側面に関する最近の研究成果は、めざましいものがあるが、これらは、社会的計画システム、特に構想計画レベルの研究にとって有用な示唆を与えものとして、その導入について検討すべきであろう。

最後に、著者は、社会的計画システムも歴史性に規定されるものであって、その時代の技術、社会状況、価値観を反映し、積極的、創造的期間、基幹的、制御的期間、および消極的、保全的期間という周期があると思う。現在は消極的、保全的期間にあることは事実であるが、そのレベルにとどまっていよいよということではない。時代を先取りすることも社会的計画システムの使命であることを指摘しておきたいと思う。

## 謝 辞

本論文を結ぶにあたり、本研究の遂行に終始温かな御指導と御鞭撻を賜った京都大学工学部・吉川和広教授に厚く御礼申し上げます。

本論文の作成に関して、種々御教示いただいた京都大学工学部・三根 久教授、長尾義三教授に深く感謝致します。

また、本研究にいろいろ御協力いただいた京都大学工学部土木計画学研究室の皆様にも深く感謝致します。

最後に、本論文の清書、図表整理等々に御協力いただいた太田 静女史に厚く御礼申し上げます。

(昭和 50 年 2 月)